బి.ఎస్‌సి.

భూవిజ్ఞానశాస్త్రం

స్ఫటికశాస్త్రం

తెలుగు అకాడమి ప్రచురణలు (బి.ఎస్‌సి.)- 169
భూవిజ్ఞానశాస్త్రం

స్ఫటికశాస్త్రం

Acc. No. 58835

రచయితలు

డా. కె. వి. సుబ్బరామయ్య,
బి.ఎస్‌సి. (ఆనర్స్), ఎం.ఎస్‌సి., పిహెచ్.డి
ప్రిన్సిపాల్ & రీడర్ (రిటైర్డ్),
భూవిజ్ఞానశాస్త్రశాఖ,
ఎన్.బి.సైన్స్ కళాశాల, హైదరాబాదు.

సంపాదకుడు

డా. బి. సత్యనారాయణ, ఎం.ఎస్‌సి., పిహెచ్.డి.
ప్రొఫెసర్ (రిటైర్డ్), భూవిజ్ఞానశాస్త్రశాఖ,
ఉస్మానియా విశ్వవిద్యాలయం, హైదరాబాదు.

తెలుగు అకాడమి
హైదరాబాదు
1999

B.Sc. : Spatika Saastram; **Author** : Dr. K.V. Subba Ramaiah; **Editor** Dr. B. Sathyanarayana; First Edition : 1999, pp. viii + 152 + iv.

Acc. No. 5835

© TELUGU AKADEMI
Hyderabad

Frist Edition : 1999

Copies : 1000

Published by TELUGU AKADEMI, Hyderabad-500 029 (Andhra Pradesh) under the Centrally Sponsored Scheme of Production of Books and Literature in Regional Languages at the University level of the Government of India in the Ministry of Human Resource Development, New Delhi.

All rights what so ever in this book are strictly reserved and no portion of it may be reproduced by any process for any purpose without the written permission of the copyright owners.

Price : Rs. 35=00

Printed in India
Laser-typeset at M/s Mahesh Print 'O' Graphics, Hyderabad,
Printed at M/s Panchamukhi Offset Printers, Hyderabad,
Andhra Pradesh.

భూమిక

1968లో స్థాపన జరిగిన నాటి నుంచి ఉన్నత విద్యా స్థాయిలో బోధనాభాషగా తెలుగు కుదురుకొనడంలో తెలుగు అకాడమి నిర్వహిస్తున్న పాత్ర అందరికీ విశదమైనదే. ఎన్నో రకాల ఇబ్బందులను అధిగమిస్తూ అత్యల్ప వ్యవధిలో ఇంటర్, డిగ్రీ, పి.జి. స్థాయిలకు కావలసిన పాఠ్య పఠనీయ గ్రంథాలు; అనుబంధ గ్రంథాలుగా అనువాదాలు, మోనోగ్రాఫ్‌లు, జనరంజక గ్రంథాలు, వ్యాసావళులు, కరదీపికలు; ఎంసెట్, ఐ.ఐ.టి., టి.టి.ఐ. మొదలయిన పోటీ పరీక్షలకు కావలసిన గ్రంథాలు; పారిభాషిక పదకోశాలు; శాస్త్ర నిఘంటువులు మొదలయిన వాటిని ప్రచురించి అకాడమి విద్యారంగానికి సముచితమయిన సేవ చేయగలిగింది. అకాడమి ప్రచురించిన పుస్తకాలు ఎన్నో పునర్ముద్రణలు కూడా పొందాయి.

1987 నుంచి రాష్ట్రంలోని విశ్వవిద్యాలయాలు డిగ్రీ స్థాయిలో ఉమ్మడి పాఠ్యప్రణాళికను రూపొందించుకొని ఆ ప్రకారం పాఠ్యాంశాల బోధనను అమలు చేశాయి. అందువల్ల ఉమ్మడి పాఠ్యప్రణాళికను అనుసరించి అకాడమి వివిధ శాస్త్రాలలో పాఠ్యగ్రంథాలను అనుభవజ్ఞులైన కళాశాల ఉపాధ్యాయులచేత రాయించి ప్రచురించింది.

1993లో రాష్ట్ర ఉన్నత విద్యామండలివారు రాష్ట్రంలోని వివిధ విశ్వవిద్యాలయాల ఆచార్యులు, అధ్యాపకుల సహకారంతో పాఠ్యప్రణాళికలను ప్రస్తుత సమాజ అవసరాలకు ఉపయోగపడే విధంగా నవీకరించారు. ఈ నేపథ్యంలో నవీకరించిన ఉమ్మడి పాఠ్యప్రణాళిక ప్రకారం వివిధ శాస్త్రాలలో డిగ్రీ ప్రథమ, ద్వితీయ, తృతీయ సంవత్సరాలకు కావలసిన పాఠ్యగ్రంథాల తయారీ అకాడమి చేపట్టింది.

నవీకరించిన ఉమ్మడి పాఠ్యప్రణాళిక ప్రకారం డిగ్రీ స్థాయి విద్యార్థులకోసం ఈ గ్రంథం ప్రచురించడం జరిగింది.

ఈ పుస్తకాన్ని ఇంతకన్నా సమగ్రంగా తీర్చిదిద్దడానికి సహృదయ పాఠకులు సూచనలిస్తే కృతజ్ఞతతో స్వీకరించగలం.

ప్రవేశిక

భూమిలో లభించే ఖనిజాలలో అత్యధికభాగం స్ఫాటికస్థితిలో లభిస్తాయి. ఖనిజాల భౌతిక ప్రకాశ ధర్మాలు, వాటి ఉపయోగ్యత వాటి స్ఫాటిక స్థితిపై ఆధారపడి ఉంటాయి. అందువల్ల ఖనిజాల అధ్యయనంలో స్ఫాటిక పదార్థాల అంతర్, బాహ్య లక్షణాల పరిజ్ఞానం ఎంతో అవసరం. స్ఫటికాల, స్ఫాటిక పదార్థాల లక్షణాలను గురించి వివరించే విజ్ఞానశాస్త్ర విభాగమే స్ఫటికశాస్త్రం. స్ఫటికశాస్త్రం మొదట్లో ఖనిజశాస్త్రంలో ఒక విభాగంగా పరిగణించబడినప్పటికీ, ఖనిజాలే కాక మరెన్నో ఇతర పదార్థాలు కూడా స్ఫాటిక పదార్థాలుగా లభిస్తున్న కారణంగా స్ఫటికశాస్త్రానికి ప్రస్తుతం పదార్థ విజ్ఞానశాస్త్ర లేదా భౌతిక, రసాయన శాస్త్రాల అధ్యయనంలో కూడా ఎంతో ప్రాముఖ్యం ఉంది.

ఆంధ్రప్రదేశ్‌లోని వివిధ విశ్వవిద్యాలయాల బి.ఎస్‌సి. భూవిజ్ఞానశాస్త్రం కామన్‌కోర్ సిలబస్‌కు అనుగుణంగా దానిలో నిర్దేశించిన స్ఫటికశాస్త్ర పాఠ్యాంశాల మేరకు మాత్రమే ఆదర్శ స్ఫటికాల బాహ్యలక్షణాలను గురించి, స్ఫాటిక పదార్థాల ప్రకాశ లక్షణాలు, వాటి పరిశీలనా విధానాలను గురించి ఈ గ్రంథంలో వివరించడం జరిగింది. అందువల్ల ఈ గ్రంథాన్ని స్ఫటికశాస్త్రానికి సంబంధించిన ఒక మౌలిక గ్రంథంగా మాత్రమే పరిగణించాలి. పాఠ్యభాగంలో వివరించిన అంశాలు విద్యార్థులకు సులభంగా అర్థంకావడం కోసం వీలైనన్ని ఎక్కువ పటాలను ఇవ్వడం జరిగింది.

ఖనిజశాస్త్రాన్ని అధ్యయనం చేసే వారికేకాక, ఘన పదార్థాల స్ఫాటిక లక్షణాలను అధ్యయనం చేసే వారందరికీ ఈ గ్రంథం ఉపయోగపడుతుందని భావిస్తున్నాము. ఈ గ్రంథంలో ఏవైనా లోపాలు ఉంటే, సహృదయులైన పాఠకులు, అధ్యాపకులు ఆరోపాలను మా దృష్టికి తెస్తే పునర్ముద్రణలో వాటిని సవరిస్తాము.

విషయసూచిక

1.	పరిచయం	1 - 9
2.	స్ఫటికాల స్వరూప లక్షణాలు	10 - 19
3.	స్ఫటిక సౌష్ఠవం	20 - 24
4.	స్ఫటిక రూప చిహ్నాలు	25 - 29
5.	స్ఫటికాల వర్గీకరణ	30 - 42
6.	స్ఫటిక రూపాల వర్ణన	43 - 102
7.	స్ఫటిక యుగ్మత	103 - 115
8.	స్ఫటికాల ద్వారా కాంతిప్రసరణ	116 - 128
9.	ప్రకాశ పరికరాలు-ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శిని	129 - 135
10.	ఖనిజాల ప్రకాశ ధర్మాలు	136 - 148
11.	Bibliography	149

పరిచయం

(Introduction)

అనంతమైన విశ్వం అంతా ద్రవ్యం (matter) లేదా పదార్థం (substance) తో ఏర్పడి ఉంది. ద్రవ్యానికి పరిమాణం, బరువు, స్థలాన్ని ఆక్రమించే లక్షణాలు ఉంటాయి. దీని చలనానికి బలం అవసరం. దీనికి భౌతిక, రసాయన ధర్మాలు ఉంటాయి. ద్రవ్యం సజాతీయ పదార్థంకాదు. ద్రవ్యం అభిలాక్షణికమైన భౌతిక, రసాయన ధర్మాలు గల కొన్ని మౌలిక పదార్థాలతో రూపొందిఉన్నట్లు రసాయన విశ్లేషణా విధానాల ద్వారా కనుక్కొన్నారు. ఈ మౌలిక పదార్థాలనే 'మూలకాలు' అంటారు. ప్రకృతిలో కనుక్కొన్నవి కాని, ప్రయోగశాలలో రూపొందించి నటువంటివి కాని మొత్తం మూలకాలు 102 వరకు ఉన్నాయి. విశ్వంలోని పదార్థాలన్నీ ఈ మూలకాలతోనే రూపొంది ఉన్నాయి.

ద్రవ్యస్థితులు (states of matter)

ద్రవ్యం సాధారణంగా మూడు స్థితులలో-వాయు, ద్రవ, ఘన స్థితులలో-లభిస్తుంది. వాయుస్థితిలో ఉన్న ద్రవ్యం ప్రధానంగా నిరంతర చలన స్థితిలో లేదా ఉష్ణీయ సంక్షోభం (thermal agitation) లో ఉన్న పరమాణువులతో కూడుకొని ఉంటుంది. పరమాణువుల పరస్పర స్థానాలలో ఎప్పుడూ మార్పులు కనిపిస్తూనే ఉంటాయి. ఉష్ణోగ్రత పెరిగేకొద్దీ పరమాణువుల చలన వేగం ఎక్కువ అవుతుంది. అవి ఎక్కువ శక్తితో ఎక్కువ దూరాలు కదులుతూ ఉంటాయి. ఉష్ణోగ్రత తగ్గేకొద్దీ పరమాణువుల చలన వేగం తక్కువ అవుతుంది. వాటి మధ్య దూరాలు కూడా తగ్గి అవి ఒకదానినొకటి తాకే స్థితికి వస్తాయి. సంసంజన బలాల ప్రభావం వల్ల పరమాణువులు ఒకదానితో మరొకటి కొంతమేరకు బంధింపబడడం వల్ల పదార్థస్థితిలో మార్పు వస్తుంది. ఈ స్థితినే ద్రవస్థితి అంటారు. ద్రవస్థితిలో కూడా పరమాణువులకు స్వేచ్ఛగా కదిలే అవకాశం కొంతవరకు ఉంటుంది. పరమాణువులు చలనశీలంగా ఉన్నప్పటికీ అవి ఒక దానినొకటి తాకుతూనే ఉంటాయి. ద్రవం ఉష్ణోగ్రత తగ్గేకొద్దీ పరమాణువుల చలన వేగం ఇంకా తగ్గి, అవి అతి తక్కువ దూరాలు మాత్రమే కదలగలుగుతాయి. ఘనీభవన ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉష్ణీయ చలనం దాదాపు ఆగిపోయి, పరమాణువులు పరస్పరం బంధింపబడి నిర్దిష్టమైన స్థానాలలో అమరి ఉంటాయి. పదార్థపు ఈ స్థితినే ఘనస్థితి అంటారు.

స్ఫాటిక, అస్ఫాటిక పదార్థాలు (crystalline and amorphous substances)

సాధారణంగా ఘనస్థితిలో పరమాణువుల అమరిక ఒక క్రమమైన పద్ధతిలో ఉంటుంది. పరమాణువులు క్రమమైన పద్ధతిలో అమరి ఉండి అంతర్గతంగా క్రమ విన్యాసాన్ని (orderly arrangement) చూపే ఘన పదార్థాన్ని స్ఫాటిక ఘన పదార్థం (crystalline solid substance)

రూపొందిన ఒక నిర్దిష్టమైన జ్యామితీయ ఆకృతిని చూపుతుంది. ఇటువంటి జ్యామితీయ ఆకృ తులు గల ఘన పదార్థాలను 'స్ఫటికాలు (crystals)' అంటారు. ఆల్ప్స్ పర్వతాలలో హిమానీనదాలున్న కొన్ని ప్రాంతాలలో పారదర్శకంగాను, ద్యుతిమంతం గాను ఉండి సమత ముఖాలతో లభించిన క్వార్ట్జ్‌ను తక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఘనీభవించిన నీరుగా భావించి గ్రీ తాత్త్వికులు ఆ ఘన పదార్థనికి 'Krustallos' అంటే 'స్వచ్ఛమైన హిమం' అనే పేరు పెట్టారు. ఈ పదం నుంచే 'crystal' (లేదా స్ఫటికం) అనే పదం రూపొందింది. ఆ తరవాత, ప్రకృతి సిద్ధంగా గాని కృత్రిమంగా గాని రూపొంది, సమతల ముఖాలతో నిర్దిష్టమైన జ్యామితీయ ఆకృతులు గ అన్ని ఘన పదార్థాలను స్ఫటికాలు అని అనడం జరిగింది. ఇటువంటి స్ఫటికాల అధ్యయనమే స్ఫటిక శాస్త్రం (Crystallography).

ఆధునిక స్ఫటికశాస్త్రం ప్రకారం స్ఫటికం అనే పదాన్ని ''అంతర్గతంగా క్రమ విన్యాస చూపే పరమాణువులతో కూడుకొని ఉండి, బాహ్యంగా ఒక క్రమమైన పద్ధతిలో ఏర్పడిన సమత ముఖాలుగల సజాతీయ ఘన స్వరూపం''గా నిర్వచిస్తారు. ప్రకృతిలో లభించే స్ఫటికాలను సహ స్ఫటికాలనీ (natural crystals), ప్రయోగశాలలో రూపొందించిన వాటిని కృత్రిమ స్ఫటికాల (artificial crystals) అంటారు. ప్రకృతి సిద్ధంగా ఏర్పడే ఘన పదార్థాలైన ఖనిజాలలో ఏవో చా కొద్ది ఖనిజాలు తప్ప అత్యధిక భాగం ఖనిజాలు స్ఫాటిక స్థితిలోనే లభిస్తాయి (పటాలు 1. 1.2).

పటం 1.2 పైరైట్ స్ఫటికాలు

స్ఫటికం యొక్క ముఖాల అమరిక ఆ స్ఫటికం వృద్ధి చెందేటప్పుడు దానిలోని పరమాణువులు అంతర్గతంగా ఏవిధంగా అమరినాయో తెలియజేస్తుంది. అంటే బాహ్యంగా స్ఫటిక ముఖాల అమరికకు, అంతర్గతంగా పరమాణువుల అమరికకు దగ్గర సంబంధం ఉంటుందన్నమాట. స్ఫటికాల అంతర్, బాహ్య లక్షణాల అధ్యయనం నుంచి ఈ విషయం స్పష్టమవుతుంది. స్ఫటిక ముఖాలవృద్ధి స్ఫటికాలు రూపొందేటప్పుడు ఉండే పరిస్థితులపై ఆధారపడి ఉంటుంది. పరిస్థితులు అనుకూలంగా ఉన్నప్పుడు ముఖాలు అన్నీ పూర్తిగా వృద్ధి చెంది ఆ స్ఫాటిక పదార్థానికి నిర్దిష్టమైన జ్యామితీయ ఆకృతి వస్తుంది. పరిస్థితులు అనుకూలంగా లేనప్పుడు పదార్థంలో పరమాణువుల అమరిక క్రమమైన రీతిలో ఉన్నప్పటికీ బాహ్యంగా ముఖాలు పాక్షికంగా మాత్రమే వృద్ధి చెందవచ్చు, లేదా అసలు వృద్ధి చెందకపోవచ్చు. బాహ్యంగా ముఖాలు వృద్ధి చెందని ఇటువంటి ఘన పదార్థాలను స్ఫటికాలుగా కాక స్ఫాటిక పదార్థాలుగా మాత్రమే పరిగణిస్తారు.

స్ఫటికాలను వాటి పరిమాణం ఆధారంగా స్థూలరూప స్ఫటికాలు (macrocrystals) గా లేదా సూక్ష్మరూప స్ఫటికాలు (microscopic crystals) గా వర్ణిస్తారు. స్థూల రూప స్ఫటికాలు స్థూలస్ఫాటిక స్థితి (macrocyrstalline state)లో ఉన్నాయని, సూక్ష్మరూప స్ఫటికాలు సూక్ష్మస్ఫాటిక స్థితి (microcyrstalline state)లో ఉన్నాయని అంటారు. సూక్ష్మరూప స్ఫటికాలను ప్రకాశ పద్ధతుల ద్వారా సూక్ష్మదర్శిని కింద మాత్రమే గుర్తించడానికి వీలవుతుంది. అలాకాక స్ఫాటిక స్థితిని తెలుసుకోవడానికి ఎక్స్-కిరణ వివర్తన పద్ధతులు అవసరమయ్యే అత్యంత సూక్ష్మమైన స్ఫటికాలు గూఢస్ఫాటికస్థితి (cryptocrystalline state)లో ఉన్నాయని అంటారు.

కొన్ని ఘనపదార్థాలలో పరమాణువులు పైన చెప్పిన స్ఫాటిక పదార్థాలలోని పరమాణువులు చూపినట్లు అంతర్గత క్రమవిన్యాసం చూపవు, అంటే ఆ పదార్థాలు స్ఫాటిక లక్షణాలు చూపవు. వీటిలోని అణువులు క్రమరహితంగా అమరి ఉంటాయి. ఇటువంటి పదార్థాలను అస్ఫాటిక

లేని కారణంగా బాహ్యంగా వీటికి క్రమమైన జ్యామితీయ ఆకృతులు ఉండవు.

స్ఫటిక పదార్థాలలో పరమాణువులు ఒక క్రమమైన రీతిలో అమరి ఉంటాయి కాబట్టి ఒక ప్రమాణ ఘనపరిమాణంగల స్ఫటిక పదార్థంలోని పరమాణువుల సంఖ్య అంతే ఘనపరిమాణంగల అస్ఫటిక పదార్థంలోని పరమాణువుల సంఖ్య కన్న ఎక్కువగా ఉంటుంది. అందువల్ల ఒక స్ఫటిక పదార్థం సాంద్రత అదే రసాయన సంఘటన గల అస్ఫటిక పదార్థం సాంద్రత కన్న అధికంగా ఉంటుంది. అదే విధంగా స్ఫటిక పదార్థం వక్రీభవన గుణకం అస్ఫటిక పదార్థం వక్రీభవన గుణకం కన్న అధికంగా ఉంటుంది. స్ఫటిక పదార్థాలకు ఉన్నట్లు అస్ఫటిక పదార్థాలకు స్థిరమైన ద్రవీభవన ఉష్ణోగ్రతలు (melting points) ఉండవు.

సమరూప (isomorphous), బహురూప (polymorphous) స్ఫటికాలు

సాధారణంగా ఒకే రసాయన సంఘటన, ఒకే విధమైన పరమాణు విన్యాసం గల స్ఫటికాలన్నీ ఒకేజాతి (species) కి చెందుతాయి. స్ఫటికం సజాతీయమైనది కాబట్టి దానికి స్థిరమైన రసాయన సంఘటన ఉంటుంది. ఆసంఘటనను కచ్చితమైన రసాయన ఫార్ములాగా వ్రాయవచ్చు. అయితే కొన్ని స్ఫటికాలు కచ్చితమైన రసాయన సంఘటన చూపవు. అవి రెండు లేదా ఇంకా ఎక్కువ స్ఫటిక జాతుల ఘనద్రావణం (solid solution) వల్ల ఏర్పడటమే దీనికి కారణం. ఈ స్ఫటికాల రసాయన సంఘటనలలో తేడా ఉన్నా, వాటి అంతర్నిర్మితులు మాత్రం ఒకే విధంగా ఉండటం వల్ల వీటిని సమరూప స్ఫటికాలు (isomorphous crystals) అనీ, ఆ స్ఫటికాలు సమరూపత్వాన్ని (isomorphism) చూపుతున్నాయని అంటారు. రసాయన సంఘటన ఒకే విధంగా ఉండి అంతర్నిర్మితులలో తేడాలు ఉండే స్ఫటికాలు వేరు వేరు జాతులకు చెందుతాయి. ఇటువంటి స్ఫటికాలను బహురూప స్ఫటికాలు (polymorphous crystals) అనీ, అవి బహురూపత్వాన్ని (polymorphism) చూపుతున్నాయనీ అంటారు.

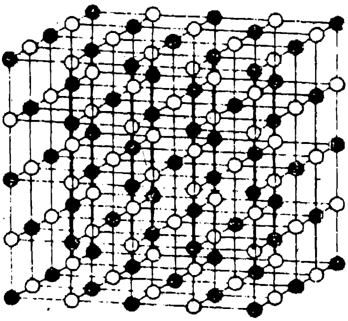
స్ఫటికాల అంతర్నిర్మితి (internal structure of crystals)

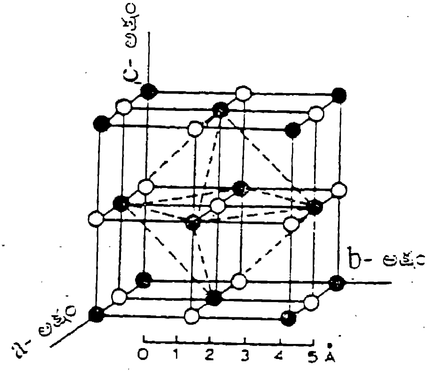
స్ఫటిక పదార్థాల స్వభావం గురించి తెలుసుకోవాలంటే వాటి అంతర్నిర్మితులను అధ్యయనం చేయవలసి ఉంటుంది. స్ఫటిక స్థితిలో పదార్థపు ప్రమాణాలు (units) నిర్దిష్టమైన, క్రమమైన రీతిలో అమరి ఉంటాయి. ఈ విధమైన భావన చాలా కాలంగా ఉన్నప్పటికీ దానికి ఎటువంటి నిదర్శన మొదట్లో లభించలేదు. 1782వ సంవత్సరంలో ఫ్రెంచ్ ఖనిజ శాస్త్రజ్ఞుడు హాయ్ (Hauy) స్ఫటికాలు ఖనిజం యొక్క అత్యల్పమైన విదళణ రేణువుల (cleavage fragments) తో నిర్మితమై ఉంటాయనీ, ఈ రేణువుల అమరిక భిన్నంగా ఉన్నప్పుడు భిన్నమైన స్ఫటిక రూపాలు ఏర్పడతాయనీ సూచించాడు. తరవాతి కాలంలో స్ఫటికాలు, హాయ్ సూచించినట్లు ఘనరూప విదళణ రేణువులతో కాక, క్రమరీతిలో అమరి ఉన్న పరమాణువులతో లేదా పరమాణు సముదాయాలతో ఏర్పడి ఉంటాయనే భావన చోటు చేసుకుంది. ఈ క్రమమైన అమరికలో ఒక నిర్దిష్టమైన త్రిమితీయ బిందువ్యూహం (point pattern) చాలా సార్లు పునరావృతం చెంది ఉంటుందని బ్రవెస్ (Bravais) 1848వ సంవత్సరంలో సూచించాడు. ఈ వ్యూహంలోని

lattice) లేదా బిందు వ్యవస్థ (point system) అంటారు. ఈ బిందువ్యూహం స్థలాంతరప్రాప్తి (translation), భ్రమణం (rotation), పరావర్తనం (reflection), విలోమనం (inversion) వంటి సంక్రియల ద్వారా పురావవృతం చెందుతుంది. గణితశాస్త్ర నియమాలు ఆధారంగా అంతరాళ జాలకాలు 14 మాత్రమే ఉండటానికి వీలుందని తెలుస్తుంది. శాస్త్రజ్ఞులు అంతరాళ జాలకాల జ్యామితీయ లక్షణాలను గురించి విస్తృతంగా అధ్యయనం చేసి, స్ఫటికాల అంతర్నిర్మితికి, బాహ్యరూపాలకు ఉన్న సంబంధాలను గురించి ఎన్నో రకాల అభిప్రాయాలను వ్యక్తం చేసినప్పటికీ, స్ఫటికాల అంతర్నిర్మితికి సంబంధించిన యదార్థ సమాచారం 1912వ సంవత్సరంలో ఫ్రెడ్‌రిచ్ (Friedrich), నిప్పింగ్ (Knipping), లవ్ (Laue) ఎక్స్-కిరణాల అధ్యయనంలో స్ఫటికాలను త్రిమితీయ వివర్తన గ్రేటింగ్‌లు (diffraction gratings) గా వాడి చేసిన పరిశోధనల నుంచి మాత్రమే లభించింది. స్ఫటిక నిర్మితియొక్క ప్రప్రథమ విశ్లేషణ 1923వ సంవత్సరంలో బ్రిటిష్ భౌతిక శాస్త్రజ్ఞులు సర్ డబ్ల్యు.హెచ్.బ్రాగ్ (W.H. Bragg), ఆయన కుమారుడు సర్ లారెన్స్ బ్రాగ్ (Lawrence Bragg) సోడియమ్ క్లోరైడ్ స్ఫటికాలపై చేసిన పరిశోధనల నుంచి లభించింది. అప్పటి నుంచి జరిగిన ప్రయోగాలు, పరిశోధనలు ఆధారంగా స్ఫాటిక పదార్థాల అంతర్నిర్మితిని ప్రత్యక్షంగా ఎక్స్-కిరణ విశ్లేషణ విధానాల ద్వారా తెలుసుకోవచ్చుని శాస్త్రజ్ఞులు నిరూపించారు.

అంతరాళ జాలకం (space lattice), ప్రమాణ కోష్ఠిక (unit cell)

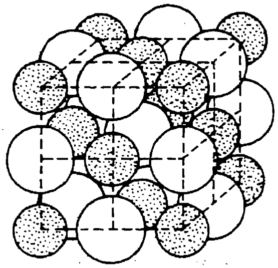
ఒక స్ఫటికం అంతర్నిర్మితికి సంబంధించి పైన వివరించిన అంతరాళ జాలకం లేదా బిందు వ్యవస్థ ప్రమాణాన్ని ఆ స్ఫటికం ప్రమాణ కోష్ఠిక అంటారు. ఒక స్ఫటికం నిర్మితి అంతా ఈ ప్రమాణ కోష్ఠికలు వరసలలో త్రిమితీయంగా పేర్చబడటం వల్ల రూపొందినట్లు భావించవచ్చు. ఈ సందర్భంలో ప్రప్రథమంగా పరిశీలించబడిన సోడియమ్ క్లోరైడ్ స్ఫటికాల అంతర్నిర్మితిని ఉదాహరణగా చెప్పవచ్చు. సోడియమ్ క్లోరైడ్ స్ఫటికాలు Na^{1+} కేటయాన్‌లు, Cl^{1-} ఆనయాన్‌లు పరస్పరం అయానిక బంధం ద్వారా బంధింపబడటం వల్ల రూపొందుతాయి. Na, Cl అయాన్‌లు అసంఖ్యాకమైన షట్‌పార్శ్వకల మూలలలో అమరి ఉంటాయి (పటం 1.3). ఇటువంటి ఎనిమిది షట్‌పార్శ్వకల సముదాయం (పటం 1.4) పునరావృతం చెందటం వల్ల సోడియమ్





పటం. 1.4 సోడియమ్ క్లోరైడ్ ప్రమాణకోష్ఠిక (నల్లని గోళాలు - సోడియమ్ అయాన్‌లు; తెల్లని గోళాలు - క్లోరిన్ అయాన్‌లు)

క్లోరైడ్ స్ఫటికాలు రూపొందుతాయి. సోడియమ్ క్లోరైడ్ స్ఫటికాల నిర్మితిలో ఈ ఎనిమిది షట్‌పార్శ్వికల సముదాయం అతి చిన్న ప్రమాణంగా ఉన్న కారణంగా దీనిని సోడియమ్ క్లోరైడ్ యొక్క ప్రమాణ కోష్ఠిక అంటారు. బిందువులకు బదులుగా ప్రమాణ కోష్ఠికలోని అయాన్‌లను వాటివాటి అయానిక వ్యాసార్ధాలకు అనుపాతంలో ఉన్న వ్యాసార్ధాలు గల గోళాలుగా సూచిస్తే సోడియం క్లోరైడ్ ప్రమాణ కోష్ఠిక పటం 1.5లో చూపిన మాదిరిగా ఆయా అయాన్‌లను సూచించే గోళాల కూర్పుగా ఉంటుందని భావించవచ్చు.



పటం 1.5 సోడియమ్ క్లోరైడ్ ప్రమాణకోష్ఠిక
చిన్నగోళాలు (చుక్కలవి) - సోడియమ్ అయాన్‌లు; పెద్దగోళాలు - క్లోరిన్ అయాన్‌లు

స్ఫటికాలు ఏర్పడే విధాలు

స్ఫటికాలు లేదా స్ఫాటిక పదార్థాలు ఏర్పడటానికి కారణమైన ప్రక్రియను స్ఫటికీకరణ (crystallization) అంటారు. వాయుస్థితిలో ఉన్న పదార్థం ఉష్ణోగ్రత తగ్గుదల కారణంగా ద్రవంగామారి, ఆద్రవం ఉష్ణోగ్రత తగ్గేకొద్ది ఘన స్థితిలోకి మారేటప్పుడు దానిలోని పరమాణువులు

ఘనీభవనం చెందడం వల్ల, కొన్ని ఘనపదార్థాలు ఉష్ణం, పీడనల ప్రభావానికి గురిఅయి రూపాంతరం చెందడం వల్ల స్ఫటికాలు ఏర్పడతాయి. ద్రావణాల నుంచి బాష్పీభవనం (evaporation) లేదా అవపాతనం (precipitation) వంటి ప్రక్రియల వల్లకూడా స్ఫటికాలు ఏర్పడవచ్చు.

మూలకాలలో చాలా కొద్ది మూలకాలు మాత్రమే ప్రకృతిలో స్వేచ్ఛాస్థితిలో లేదా అసంయోగ (uncombined) స్థితిలో లభిస్తాయి. ఖనిజాలలో ఎక్కువ భాగం రెండు లేదా ఇంకా ఎక్కువ మూలకాల పరమాణువులు రసాయన సంయోగం చెందడం వల్ల ఏర్పడిన సమ్మేళనాలు అయి ఉంటాయి. పరమాణువులు ఎప్పుడూ ఒంటరిగా ఉండవు. అవి సాధారణంగా సరూప (identical) పరమాణువులతో గాని లేదా ఇతర మూలకాల పరమాణువులతోగాని కలిసి అణువులుగా ఏర్పడతాయి. సాధారణంగా మనం సమ్మేళనాలు అణువులతో ఏర్పడి ఉంటాయని భావించినప్పటికీ ఏ ఘనపదార్థంలోను లేదా స్ఫాటిక పదార్థంలోనూ ఈ అణువులు వాటి సహజ స్థితిలో ఉండటం అరుదు. ముందు చెప్పినట్లుగా, స్ఫాటిక పదార్థం ఏర్పడినప్పుడు, దానిలోని కణాలు అంతరాళంలో క్రమమైన విన్యాసంలో దృఢంగాను, స్థిరంగాను అమరి ఉంటాయి. ఖనిజాలలో ఉండే కణాలు సాధారణంగా పరమాణువులు, ఆయాన్‌లు లేదా పాక్షిక అణువులు అయి ఉంటాయేతప్ప పూర్తి అణువులు అయి ఉండటం అరుదు అని పరిశోధనల నుంచి తెలుస్తుంది.

స్ఫటికవృద్ధి స్వేచ్ఛగా జరిగితే స్ఫటిక బాహ్యతలాలు స్ఫటిక అంతర్నిర్మితితో పూర్తిగా ఏకీభవిస్తాయి. కాని స్ఫటికాలు అధిక సంఖ్యలో ఏర్పడినప్పుడు అవన్నీ గుంపుగా ఉండి వాటి రూపాలు కొంతమేరకు అస్తవ్యస్తంగా ఉండవచ్చు. అయినప్పటికీ అంతర్నిర్మితిలో మాత్రం ఎటువంటి మార్పు ఉండదు.

స్ఫటికశాస్త్రం పరిధి, అభివృద్ధి

స్ఫటికాల స్వరూప ధర్మాలు, భౌతిక ధర్మాలు, రసాయన ధర్మాలు, ప్రకాశ ధర్మాలు, అంతర్నిర్మితి, వర్గీకరణ, పెరుగుదల మొదలైన అంశాలను వివరించే విజ్ఞాన శాస్త్ర విభాగాన్ని స్ఫటిక శాస్త్రం అంటారు. ఈశాస్త్ర అధ్యయనానికి గణితశాస్త్ర, భౌతిక శాస్త్ర, రసాయన శాస్త్ర పరిజ్ఞానం అవసరం. స్ఫటికాల అధ్యయనంలో ఎంచుకొన్న అంశం ఆధారంగా స్ఫటికశాస్త్రంలో వివిధ విభాగాలను గుర్తించవచ్చు. స్ఫటికాల బాహ్యలక్షణాలను వివరించే విభాగాన్ని స్వరూపాత్మక స్ఫటికశాస్త్రం (Morphological crystallography), లేదా స్ఫటిక స్వరూపశాస్త్రం (Crystal morphology) అనీ, స్ఫటికాల భౌతిక ధర్మాలను వివరించే విభాగాన్ని భౌతిక స్ఫటికశాస్త్రం (Physical crystallography) అనీ, ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శిని సహాయంతో స్ఫటికాల ప్రకాశ ధర్మాల అధ్యయనానికి సంబంధించిన విభాగాన్ని ప్రకాశస్ఫటికశాస్త్రం (Optical crystallography) అనీ అంటారు. స్ఫటికాల అంతర్నిర్మితికి సంబంధించిన విభాగాన్ని నిర్మితీయ స్ఫటికశాస్త్రం (Structural crystallography) అని అంటారు; స్ఫటికాల అంతర్నిర్మితిని గురించి తెలుసుకోవడానికి ఎక్స్-కిరణ పద్ధతులను ఉపయోగించడం కారణంగా ఈ శాస్త్ర విభాగాన్ని ఎక్స్-కిరణ స్ఫటికశాస్త్రం (X-ray crystallography) అని కూడా అంటారు. స్ఫటికాలలోని పరమాణువుల స్వభావం, బంధన

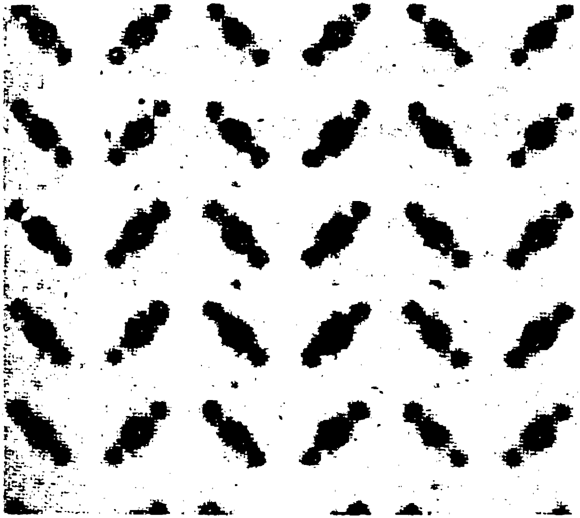
స్ఫటికశాస్త్రం మొదట్లో భౌతిక ఖనిజశాస్త్రంలో ఒక విభాగంగా ప్రారంభమైంది. కొన్ని ఖనిజాలు స్ఫటికాలుగా లభించడమే దీనికి కారణం. నిజానికి ఖనిజాలు ప్రదర్శించే స్ఫటిక రూపాలు ఆ ఖనిజాలకు అభిలాక్షణికమైన ధర్మం అని 1669వ సంవత్సరంలో కోపెన్ హాగెన్‌కు చెందిన శాస్త్రజ్ఞుడు నికొలస్ స్టెనో (Nicolaus Steno) క్వార్ట్జ్ స్ఫటికాల కోణాల కొలతలను వర్ణిస్తూ ఒక పరిశోధన వ్యాసం ప్రచురించినప్పుడే తెలియవచ్చింది. ఆ తరవాత కాలంలో ఇటలీకి చెందిన ఫిజీషియన్, ఇంజనీర్ అయిన డొమెనికో గుగ్లీల్మిని (Domenico Guglielmini) ఈ అంశానికి సంబంధించి మరికొంత సమాచారాన్ని సేకరించాడు. అయితే పద్దెనిమిదవ శతాబ్దం చివరి భాగంలో ఫ్రెంచ్ ఖనిజశాస్త్రజ్ఞుడు అయిన రోమె డి లిస్లె (Rome de Lisle) అంతర్ముఖ కోణాలస్థిరతా నియమాన్ని ప్రతిపాదించినప్పుడు మాత్రమే స్ఫటికశాస్త్రం ఆవిర్భవించిందని చెప్పాలి.

ఒక ఖనిజం ఎప్పుడూ ఒకే స్ఫటిక రూపాన్ని ఎందుకు చూపుతుందనే విషయం మొదట్లో తెలియదు. అయితే ప్రారంభంలో, స్ఫటికశాస్త్రజ్ఞులు ఖనిజంలోని ఘటక ప్రమాణాలు (constituent units) అంర్గతంగా నిర్దిష్టమైన విధంగా అమరి ఉండటమే దీనికి కారణమని భావించారు. 1784వ సంవత్సరంలో ఫ్రెంచ్ ఖనిజశాస్త్రజ్ఞుడు, స్ఫటిక శాస్త్రజ్ఞుడు అయిన రెనె జస్ట్ హాయ్ (Rene Just Hauy) తాను ప్రచురించిన పరిశోధనా పత్రంలో స్ఫాటిక పదార్థాలలో నిర్దిష్టమైన ఆకృతులు గల అత్యల్పమైన ప్రమాణాలు క్రమమైన రీతిలో అమరి ఉండటంవల్ల ఆ పదార్థాలకు అభిలాక్షణికమైన బాహ్యరూపాలు వచ్చి ఉంటాయనే భావాన్ని తెలియజేసాడు. ఆయన ఈ ప్రమాణాలను ఇంటెగ్రల్ అణువులు (integral molecules) అన్నాడు.

స్ఫటికాలను ఎక్స్-కిరణ వివర్తన గ్రేటింగ్‌లుగా ఉపయోగించి నిప్పింగ్, ఫ్రెడ్రిచ్ చేసిన ప్రయోగాలు ఆధారంగా 1912వ సంవత్సరంలో మాక్స్ ఫాన్ లవ్ (Max Von Laue) అన్ని స్ఫాటిక పదార్థాలలోను అంతర్గతంగా ఘటక ప్రమాణాలు నిర్దిష్టమైన, క్రమమైన అమరికలను లేదా విన్యాసాలను చూపుతాయని, హాయ్ ఊహ యదార్థమని నిరూపించాడు. ఈ విధంగా ఎక్స్‌కిరణ స్ఫటికశాస్త్రం ఆవిర్భవించింది. పటం 1.6లో పైరైట్ ఖనిజం ఎక్స్-కిరణ ప్రతిబింబాన్ని చూడవచ్చు.

ఘనపదార్థాలలో అత్యధిక భాగం స్ఫాటికీయంగా ఉంటాయి కాబట్టి స్ఫటికశాస్త్రం ప్రస్తుతం ఖనిజశాస్త్రంలోని విభాగంగా మాత్రమేకాక, రసాయనశాస్త్రం, భౌతికశాస్త్రం, లోహశుద్ధిశాస్త్రం, జీవశాస్త్రాలలో కూడా ప్రాముఖ్యాన్ని పొందింది. దీని ప్రాముఖ్యం ఇంకా పెరుగుతూనే ఉంది. పదార్థాల ఘనస్థితి (solid state) ని పరిశోధించే శాస్త్రజ్ఞులందరికీ స్ఫటికశాస్త్ర పరిజ్ఞానం ఎంతో అవసరం.

స్ఫటికాల బాహ్య స్వరూపాలకు మూలమైన క్రమ అంతర్ నిర్మితుల అధ్యయనం ఆధారంగా కొన్ని పదార్థాలలో నిర్మితీయక్రమత (structural orderliness) పాక్షికంగానే ఉంటుందని, బాగా వృద్ధిచెందిన విడి స్ఫటికాలుగా లభించని చాలా పదార్థాలలో ఎంతో కొంత స్ఫాటికీయత



పటం 1.6 పైరైట్ స్ఫటికాల స్ఫటిక జాలకం
ఎక్స్ - కిరణ ప్రతిబింబం (2.00 మిలియన్ వ్యాసాలు ఆవర్ధనం చేయబడింది)
పెద్ద చుక్కలు ఐరన్ అయాన్‌లను, చిన్నచుక్కలు (రెండురెట్లు ఉన్నవి)
సల్ఫర్ అయాన్‌ల జతలను చూపుతున్నాయి.

ఊలు లను కూడా చేరుస్తున్నారు. అంతేకాక ద్రవాలను, వాయువులను కూడా స్ఫటికశాస్త్ర పద్ధతుల ద్వారా పరిశోధిస్తున్నారు. అందువల్ల ప్రస్తుతం స్ఫటికశాస్త్రాన్ని కేవలం స్ఫటికాల అధ్యయనానికి సంబంధించిన విజ్ఞానశాస్త్ర విభాగం గానే కాక 'స్ఫాటికీయస్థితి (crystalline state)' అధ్యయనానికి సంబంధించిన విజ్ఞానశాస్త్ర విభాగంగా పరిగణించాలి.

ప్రస్తుత పాఠ్యగ్రంథంలో పరిపూర్ణంగా వృద్ధి చెందిన స్ఫటికాల అంటే ఆదర్శ స్ఫటికాల (ideal crystals) స్వరూప, ప్రకాశ లక్షణాలను గురించి మాత్రమే ప్రస్తావించినప్పటికీ ఆధునిక స్ఫటికశాస్త్రం సాధించిన ప్రగతిని, దాని ప్రయోజనాలను అర్థంచేసుకోవడానికి ఈ పాఠ్యాంశాలు సరియైన పునాదిని వేస్తాయని భావించవచ్చు.

2

స్ఫటికాల స్వరూప లక్షణాలు

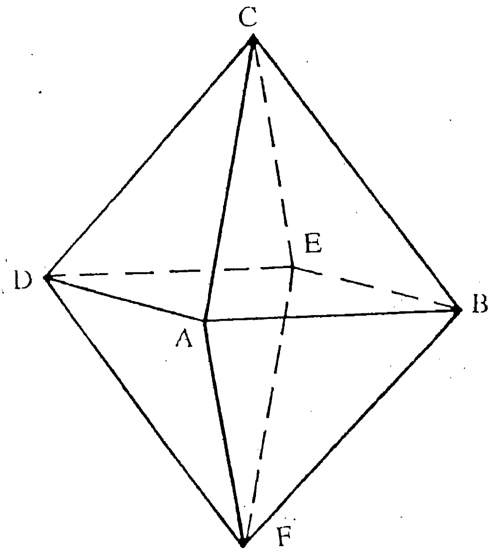
(Morphological Characters of Crystals)

అవిచ్ఛిన్న వృద్ధికి దోహదంచేసే పరిసరాలలో స్ఫటికాలు రూపొందినప్పుడు వాటికి అత్యుత్తమమైన, సంపూర్ణమైన అంతర్నిర్మితులు, వాటికి అనుగుణమైన బాహ్య స్వరూపాలు ఉంటాయి. ఇటువంటి స్ఫటికాలను ఆదర్శ స్ఫటికాలు (ideal crystals) అంటారు. ప్రకృతిలో స్ఫటికాలు రూపొందేటప్పుడు పరిస్థితులు ఎల్లప్పుడూ అనుకూలంగా ఉండవు కాబట్టి చాలా స్ఫటికాలలో అంతర్, బాహ్య లక్షణాలో కొన్ని లోపాలు కనిపిస్తాయి. ప్రకృతిలో ఆదర్శ స్ఫటికాలు అరుదుగానే లభించినప్పటికీ, స్ఫటికశాస్త్ర అధ్యయనం ప్రారంభదశలో పరిశీలనకు ఇటువంటి స్ఫటికాలే అనువుగా ఉంటాయి కాబట్టి ఈ అధ్యాయంలోను, రాబోయే అధ్యాయాలలోను ఆదర్శస్ఫటికాల లక్షణాలను గురించి మాత్రమే ప్రస్తావించడం జరిగింది.

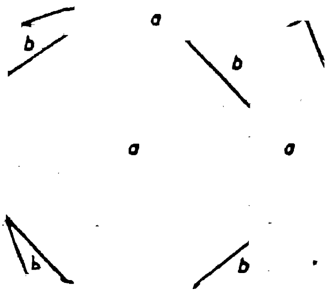
స్ఫటికాల ముఖాలు, అంచులు, మూలలు

స్ఫటికాలు త్రిమితీయ ఘనస్వరూపాలు. వాటి జ్యామితీయ బాహ్య స్వరూపాలకు వాటిపై రూపొందిన సమతల ఉపరితలాలే (plane surfaces) కారణాలు. ఈ సమతల ఉపరితలాలనే ముఖాలు (faces) అంటారు. ప్రతి ముఖమూ ఒక ద్విమితీయమైన సమతలం. ఇది స్ఫటికం అంతరాళ జాలకంలోని ఒక పరమాణు తలాల గణానికి సమాంతరంగా ఏర్పడి ఉంటుంది. రెండు ఆసన్న (adjacent) ముఖాలు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే సరళ రేఖను అంచు (edge) అంటారు. ఇది జాలతలాలు పరస్పరం ఖండించుకొనే చోట ఉండే పరమాణువుల వరసల (rows of atoms) కు సమాంతరంగా ఉంటుంది. రెండు కన్న ఎక్కువ ముఖాలు లేదా అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే బిందువును మూల (corner) లేదా ఘనకోణం (solid angle) అంటారు (పటం 2.1). స్ఫటికంలోని ముఖాలు (F), అంచులు (E), మూలల (C)కు ఉన్న స్థిరమైన సంబంధాన్ని $F+C = E+2$ అనే సమీకరణం ద్వారా సూచిస్తారు.

ఒక స్ఫటికం చూపే ముఖాలన్నీ ఒకే రీతికి చెందినవై ఉండవచ్చు. అంటే అవి ఒకే ఆకారం, పరిమాణం కలిగి ఉండవచ్చు. ఇటువంటి ముఖాలను సదృశ ముఖాలు (like faces) అంటారు. అవి అన్నీ ఒకే గణానికి (set) చెందుతాయి. కొన్ని స్ఫటికాలు వేరువేరు ఆకారాలు, పరిమాణాలు గల ముఖాలను చూపవచ్చు. ఇటువంటి ముఖాలను అసదృశ ముఖాలు (unlike faces) అంటారు. సాధారణంగా ఇటువంటి స్ఫటికాలలో రెండు లేదా ఇంకా ఎక్కువ సదృశ ముఖాల గణాలు ఉంటాయి (పటం 2.2). సదృశ ముఖాలన్నీ ఒకే గణానికి చెందినట్లు, ఆ సదృశ ముఖాలు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే అంచులన్నీ సదృశంగా ఉండి ఒకే గణానికి చెందుతాయి. సదృశ అంచులు ఖండించుకోనడం వల్ల ఏర్పడే మూలలు ఒకే గణానికి చెందుతాయి. కొన్ని ముఖాలు పరస్పరం ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే అంచులన్నీ ఒక దానికొకటి



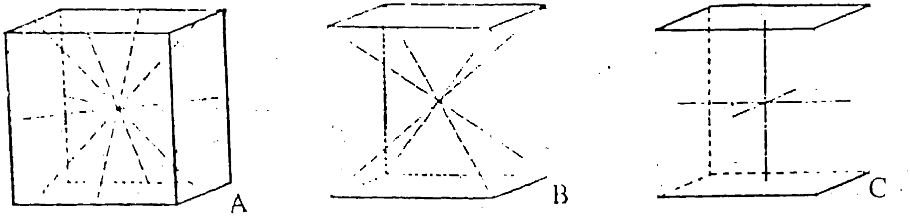
పటం 2.1 స్ఫటికంలో ముఖాలు (ABC, BCE, DCE, ACD, ABF, BEF, DEF, ADF); అంచులు (AB, BE, DE, AD, CA, CB, CD, CE, FA, FB, FE, FD); మూలలు (A,B,C,D,E,F).



పటం 2.2 సదృశ, అసదృశ ముఖాలు
a ముఖాలు ఒక రీతికి చెందినవి
b ముఖాలు మరొక రీతికి చెందినవి

స్ఫటికంలో అక్షాలు, సమతలాలు

స్ఫటికాల స్వరూప లక్షణాలలో ముఖ్యమైనవి, మౌలికమైనవి ముఖాలు. ప్రకృతిలో రూపొందే విభిన్న స్ఫటికాలలో ఒక్కొక్క స్ఫటికంలో ముఖాల అమరిక ఒక్కొక్క విధంగా ఉంటుంది. ఒక స్ఫటికాన్ని వర్ణించాలంటే ఆస్ఫటికం ముఖాల స్థానాలను, అమరికను వర్ణించాలి. దీనికోసం గణితశాస్త్రంలో త్రిమితీయ స్వరూపాలను వర్ణించటానికి వాడే జ్యామితీయ పద్ధతులలో మాదిరిగానే కొన్ని నిర్దేశకాక్షాలను (reference axes) ఊహిస్తారు. స్ఫటికాల అధ్యయనం కోసం స్ఫటికం కేంద్రం ద్వారా పోతూ ఒకే తలంలో ఉండని మూడు లేదా నాలుగు అక్షాలను ఎంచుకొంటారు. వీటిని స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలు (crystallographic axes) అంటారు. ఇవి సాధారణంగా స్ఫటిక జాలకం లేదా ప్రమాణ కోష్ఠిక (unit cell) అంచులకు, తత్ఫలితంగా స్ఫటికం అంచులకు సమాంతరంగా ఉంటాయి. నిజానికి ప్రతి స్ఫటికంలోను అసంఖ్యాకమైన అక్షాలను ఊహించవచ్చు. అయితే వీటిలో స్ఫటికం మూలల ద్వారా, అంచుల మధ్య బిందువుల ద్వారా, ముఖాల కేంద్రాల ద్వారా పోయే అక్షాలు స్ఫటికాల లక్షణాలను వర్ణించడంలో ఉపకరిస్తాయి. ఈ మూడురీతుల అక్షాలలో ఒక రీతి అక్షాలు స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలు అయి ఉంటాయి. మిగిలిన రెండు రీతుల అక్షాలను వికర్ణాక్షాలు (diagonal axes) అంటారు (పటం 2.3).



పటం 2.3 స్ఫటికంలో అక్షాలు

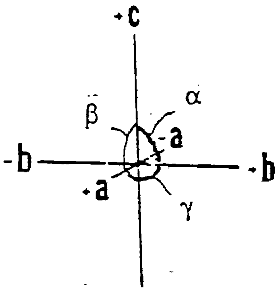
A ఎదురెదురు అంచుల మధ్య బిందువులను కలిపేవి (వికర్ణాక్షాలు)

B ఎదురెదురు మూలలను కలిపేవి (వికర్ణాక్షాలు)

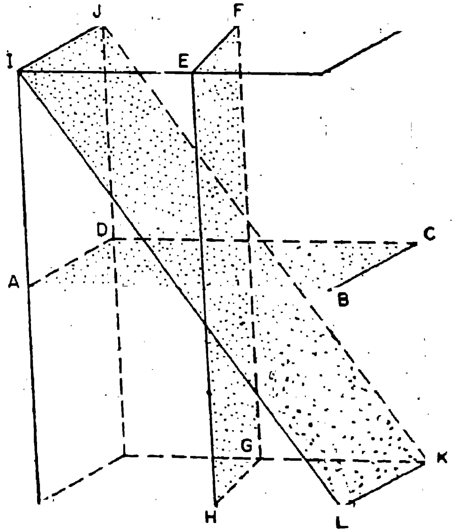
C ఎదురెదురు ముఖాల కేంద్రాలను కలిపేవి (స్ఫటికరేఖీయాక్షాలు)

స్ఫటికరేఖీయ అక్షాలు, అక్ష సమతలాలు

స్ఫటికాలలో సాధారణంగా ఊహించే మూడు స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలలో ఒక అక్షం క్షితిజలంబంగా ఉంటుంది. దీనిని c-అక్షం అంటారు. పరిశీలకుని వైపునకు, అంటే ముందుకు-వెనుకకు ఉండే అక్షాన్ని a-అక్షం అనీ, ఎడమ-కుడివైపులకు ఉండే అక్షాన్ని b-అక్షం అనీ అంటారు. ప్రతి అక్షానికీ రెండు కొనలు ఉంటాయి. వీటిలో ఒకటి ధనాత్మక (positive), మైనది, రెండవది రుణాత్మక (negative) మైనది. c-అక్షం పైకొన, a- అక్షం ముందుకొన, b-అక్షం కుడికొన ధనాత్మకమైనవి; c- అక్షం కిందికొన, a-అక్షం వెనకకొన, b-అక్షం ఎడమకొన రుణాత్మకమైనవి. ఈ అక్షాలు పరస్పరం లంబంగా ఉండవచ్చు లేదా ఒకదానికొకటి వేరువేరు కోణాలలోనతమై ఉండవచ్చు. ఈ కోణాలను అక్షకోణాలు (axial angles) అంటారు. c-అక్షానికి, b-అక్షానికి మధ్యనున్న కోణాన్ని 'α' అనీ, c- అక్షానికి a-అక్షానికి మధ్యనున్న కోణాన్ని 'β' అనీ, a-అక్షానికి, b- అక్షానికి మధ్యనున్న కోణాన్ని 'γ' అనీ అంటారు. ఈ కోణాలను ఆయా అక్షాల ధనాత్మక కొనల వైపున కొలుస్తారు (పటం 2.4).



పైన చెప్పిన స్ఫటిక సమతలాలలో రెండు స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలను కలిగి ఉండే సమతలాలను అక్షసమతలాలు (axial planes) అంటారు. మూడు స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలుగల ప్రతి స్ఫటికంలోను ఇటువంటి అక్షసమతలాలు మూడు ఉంటాయి. మిగిలిన సమతలాలను వికర్ణ సమతలాలు (diagonal planes) అంటారు (పటం 2.5).



పటం 2.5 అక్ష, వికర్ణ సమతలాలు

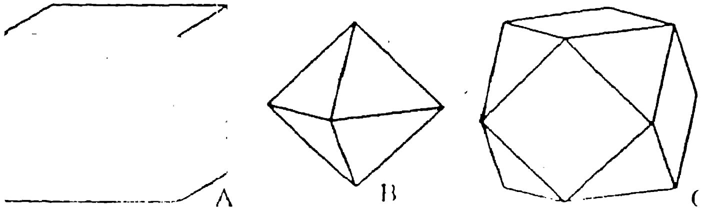
ABCD, EFGH : అక్షసమతలాలు

IJKL : వికర్ణసమతలం

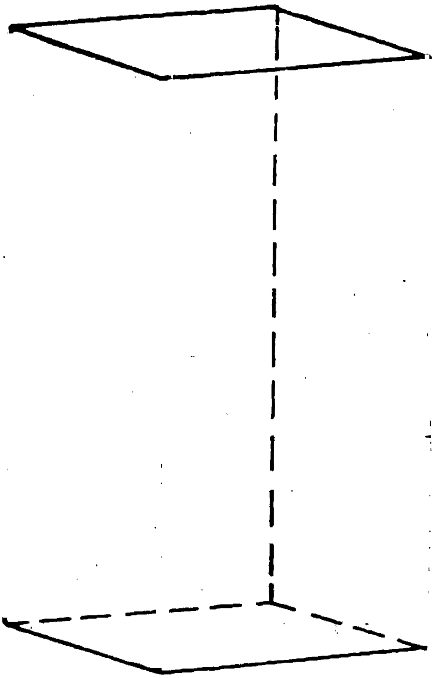
స్ఫటిక రూపాలు

ఒక స్ఫటికం ఆకృతికి కారణమైన ఒకటి లేదా అంతకన్న ఎక్కువ సదృశ ముఖాల సముదాయాన్ని లేదా గణాన్ని స్ఫటికశాస్త్రంలో రూపం (form) అని అంటారు. స్ఫటికాలను పరిశీలించినప్పుడు వాటిపైన ఉండే సదృశ ముఖాల, అంచుల లేదా మూలల అమరికలో సర్వసాధారణంగా ఒక క్రమత్వం (regularity) కనిపిస్తుంది. దీనినే సౌష్ఠవం (symmetry) అంటారు. స్ఫటికాల సౌష్ఠవం గురించి మరో అధ్యాయంలో వివరించడం జరిగింది. ఒక స్ఫటికం చూపే సౌష్ఠవం రీత్యా ఆవశ్యకమైన సదృశ ముఖాల సముదాయాన్ని 'రూపం' అని నిర్వచించడం సమంజసంగా ఉంటుంది. కొన్ని స్ఫటికరూపాలు కేవలం ఒకగణం సదృశ ముఖాలతోను, కొన్ని స్ఫటికాలు రెండు లేదా ఇంకా ఎక్కువ సదృశ ముఖాల గణాలతోను రూపొంది ఉంటాయి. ఇటువంటి రూపాలను ఒక దాని నుండి మరొక దానిని విచక్షణ చేయడానికి మొదటి రకం

అనీ అంటారు. ఉదాహరణకు పటం 2.6లో **A** ఆరు సదృశ ముఖాలు గల సరళ రూపాన్ని, **B** ఎనిమిది సదృశ ముఖాలు గల సరళరూపాన్ని, C ఆరు సదృశముఖాలు, ఎనిమిది సదృశముఖాలుగల రెండు సరళ రూపాల సంయోగరూపాన్ని చూపుతున్నాయి.



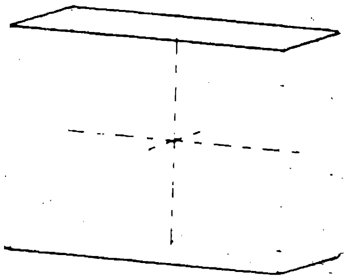
పటం 2.6 **A** – సరళరూపం
B – సరళరూపం
C – **A,B** రూపాల సంయోగరూపం



పటం 2.7 రెండు వివృతరూపాల సంయోగరూపం

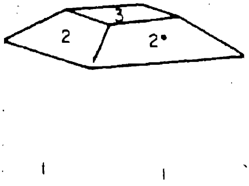
పటం 2.7లో చూపిన రూపంలో రెండు గణాల సదృశ ముఖాలున్నాయి. అంటే ఆ రూపం రెండు సరళ రూపాలతో కూడుకొని ఉన్న సంయోగరూపం అన్నమాట. ఈ రెండు సరళ రూపాలలో ఒకదానిలో కేవలం రెండు ముఖాలు (క్షితిజసమాంతరంగా ఉన్నవి), రెండవ

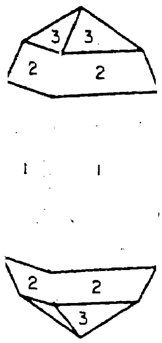
ఆవరించలేవు. ఇటువంటి రూపాలను వివృత రూపాలు (open forms) అంటారు. ఇటువంటి రూపాలు రెండు లేదా అంతకన్న ఎక్కువ కలసి సంయోగ రూపాలుగానే కనిపిస్తాయి. వీటికి భిన్నంగా పటం 2.6 లోని రూపం C లో ఉన్న రెండు గణాల సదృశముఖాలు విడివిడిగా A,B లలో చూపిన సరళ రూపాలుగా వాటికిగా అవే అంతరాళాన్ని ఆవరించగలవు. ఇటువంటి సరళ రూపాలను సంవృత రూపాలు (closed forms) అంటారు. సాధారణంగా సంయోగ రూపాలు రెండు లేదా ఎక్కువ సంవృత రూపాలతో గాని రెండు లేదా ఎక్కువ వివృత రూపాలతోగాని (పటాలు 2.7, 2.8), ఒకటి లేదా ఎక్కువ వివృత రూపాలు, ఒకటి లేదా ఎక్కువ సంవృత రూపాలతో గాని (పటాలు 2.9, 2.10, 2.11) కూడుకొని ఉంటాయి.



పటం 2.8 మూడు వివృతరూపాల సంయోగరూపం

పటం 2.9 ఒక వివృతరూపం (1), ఒక సంవృతరూపం (2) సంయోగరూపం

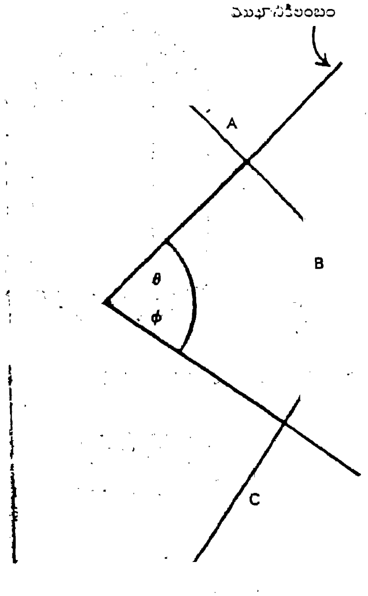




పటం 2.11 ఒక వివృతరూపం (1), రెండు సంవృత రూపాల (2,3) సంయోగరూపం

అంతర్ముఖ కోణాలు (interfacial angles), వాటి స్థిరతా నియమము

ఒక స్ఫటికం మీది ఏవైనా రెండు ముఖాలకు దాని కేంద్రం నుంచి గీచిన లంబరేఖల మధ్య నుండే కోణాన్ని అంతర్ముఖకోణం అంటారు (పటం 2.12). ఈ కోణం ముఖాల మధ్య నుండే కోణానికి సంపూరక కోణం (supplementary angle) గా ఉంటుంది. ఖనిజ స్ఫటికాల అంతర్నిర్మితికి సంబంధించిన పరిశీలనలో ఈ అంతర్ముఖ కోణానికి ఎంతో ప్రాధాన్యం ఉంది.



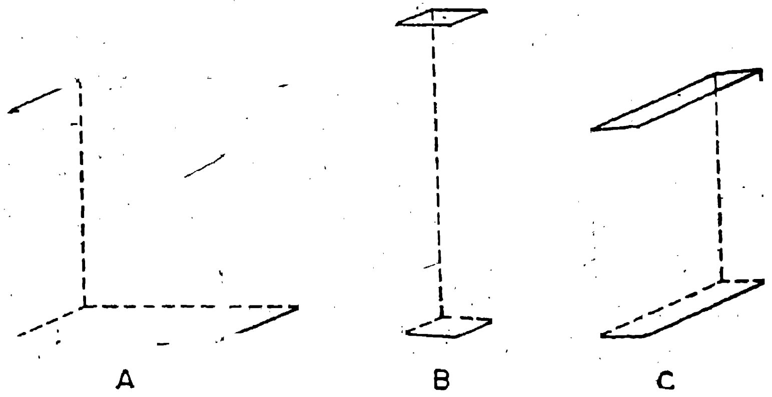
పటం 2.12 అంతర్ముఖ కోణాలు

అంతర్ముఖ కోణం A ∧ B = θ

ఇదివరలో చెప్పినట్లు ఒక స్ఫటికం మీది ముఖాల స్థానాలు ఆ స్ఫటికంలోని పరమాణువుల అమరిక మీద, మరో విధంగా చెప్పవలెనంటే, ఆ స్ఫటికపు అంతరాళజాలకం మీద ఆధారపడి ఉంటాయి. ప్రతి ఖనిజజాతికి ఒక అభిలాక్షణికమైన, నిర్దిష్టమైన అంతరాళ జాలకం, అంతర్నిర్మితి ఉంటాయి. అందువల్ల ఆ ఖనిజం స్ఫటికంలోని పరమాణువుల వరసల మధ్య, జాలతలాల (net planes) మధ్య కోణాలు స్థిరంగా ఉంటాయి. అంటే ఒక ఖనిజానికి చెందిన అన్ని స్ఫటికాలలో అనుగుణ (corresponding) ముఖాల మధ్య కోణాలు అన్నీ సమానంగా ఉంటాయన్నమాట. ఈ సత్యాన్నే అంతర్ముఖకోణాలస్థిరతా నియమం (Law of Constancy of interfacial angles) అంటారు. స్ఫటిక శాస్త్రానికి సంబంధించిన ప్రాథమిక నియమాలలో ఇది ఒకటి. ఈ నియమాన్ని కింది విధంగా చెప్పవచ్చు.

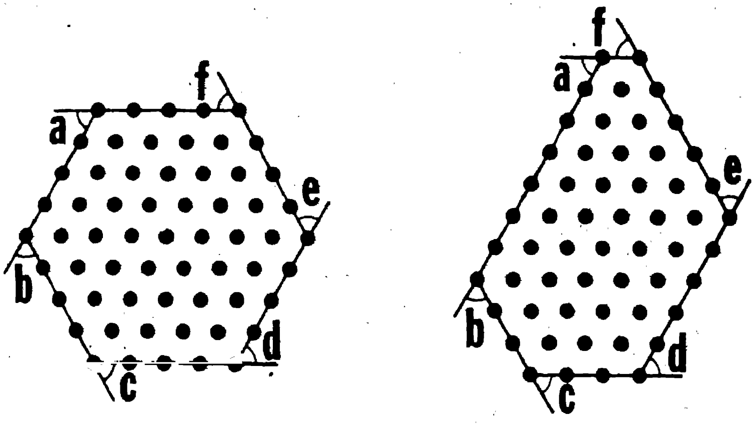
''ఒక ఖనిజ జాతికి చెందిన అన్ని స్ఫటికాలలోను అనుగుణ అంతర్ముఖ కోణాలు (corresponding interfacial angles) సమానంగా ఉంటాయి. అయితే ఈ స్ఫటికాలన్నిటి రసాయన సంఘటన ఒకే విధంగా ఉండి, ఒకే ఉష్ణోగ్రత వద్ద కోణాలను కొలచినప్పుడు మాత్రమే ఇది సాధ్యపడుతుంది.''

సాధారణంగా స్ఫటికాలు వృద్ధి చెందేటప్పుడు అవి ఒక దిశలో కంటె మరొక దిశలో సులభంగా వృద్ధి చెందడం జరుగుతుంది. అందువల్ల స్ఫటికాలు వాటి యథార్థ రూపాలలోకాక కొంతమేరకు విరూపణ పొంది విరూపిత లేదా వికృత స్ఫటికాలు (distorted crystals) గా ఏర్పడడం జరుగుతుంది. ఇటువంటి వికృత స్ఫటికాలలో కూడా అనుగుణ అంతర్ముఖ కోణాలు స్థిరంగానే ఉంటాయి. దీనిని పటాలు 2.13, 2.14లో చూడవచ్చు.



పటం 2.13 షట్పార్శ్వక (A); విరూపణ చెందిన షట్పార్శ్వకలు (B,C). వీటిలో అనుగుణ అంతర్ముఖకోణాలు సమానంగా ఉన్నాయి.

1669వ సంవత్సరంలో నికొలాస్ స్టెనో క్వార్ట్జ్ స్ఫటికాల అంతర్ముఖ కోణాలపై చేసిన

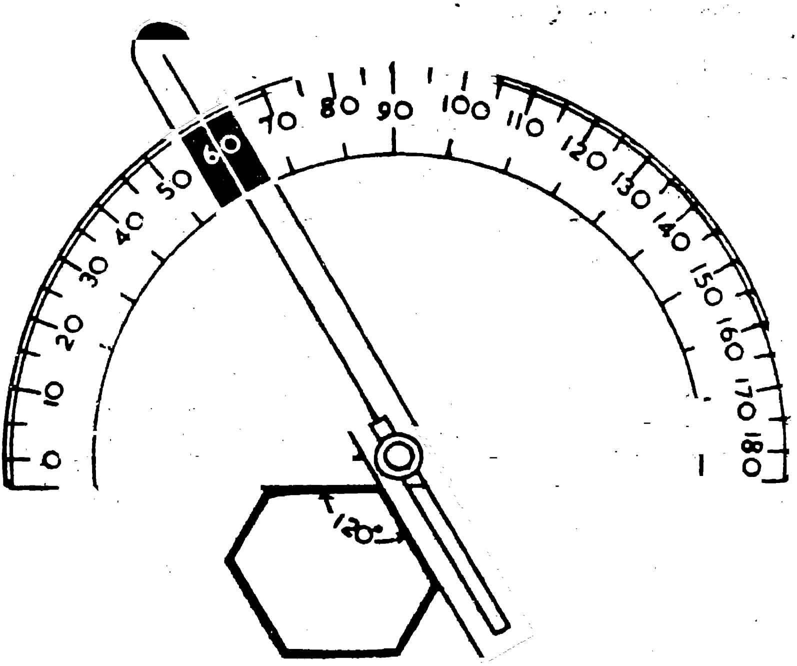


పటం 2.14 A. క్రమషడ్భుజి బిందువ్యూహం అంతర్ముఖ కోణాలు A,B,C,D,E,F ఒక్కొక్కటి 60^0 ఉన్నాయి
B. విరూపణ చెందిన షడ్భుజి బిందువ్యూహం అంతర్ముఖ కోణాలు a,b,c,d,e,f ఒక్కొక్కటి స్థిరంగా 60^0 ఉన్నాయి

ప్రయోగాత్మక స్ఫటికశాస్త్ర విధానాలలో అంతర్ముఖ కోణాలను కొలవడం ఒక ముఖ్యమైన అంశం. స్ఫటికాల అంతర్ముఖ కోణాలను స్పర్శకోణ మాపకం (contact goniometer) సహాయంతో కొలుస్తారు. దీనిని ఫ్రాన్స్‌కు చెందిన కరంగియోట్ (Carangeot) 1780వ సంవత్సరంలో రూపొందించాడు. ఈ పరికరం (పటం 2.15)లో కోణమానిని (protractor) ముఖ్య భాగం. దీని ఆధారభుజం కేంద్రం వద్ద పారదర్శకమైన, సరళమైన సెల్యులాయిడ్ పట్టీ ఒకటి భ్రమణం చేయడానికి వీలుగా బిగించబడి ఉంటుంది. దీనిని భ్రమణ భుజం అంటారు. ఈ భ్రమణ భుజం మధ్యలో ఉండే సన్నని గీత ఆధారంగా స్ఫటికం అంతర్ముఖ కోణాన్ని కొలవడానికి స్ఫటికం ఒక ముఖం కోణమానిని ఆధారభుజాన్ని, రెండవ ముఖం భ్రమణ భుజాన్ని తాకుతూ, కోణమానిని, భ్రమణ భుజాల తలం స్ఫటికం రెండు ముఖాలకు లంబంగా ఉండేటట్లు పట్టుకోవాలి. అప్పుడు భ్రమణ భుజంలోని గీత కోణమానినిపై సూచించే ఒక కోణం అంతర్ముఖ కోణం, రెండవది దాని సంపూరక కోణం అవుతాయి.

అంతర్ముఖ కోణాలను కొలవడానికి ఉపయోగించే పరికరాలలో స్పర్శకోణ మాపకం అతి సామాన్యమైనది, సరళమైనది. ఇదికాక లండన్‌కు చెందిన ఒలాస్టన్ 1809లో రూపొందించిన పరావర్తన కోణమాపకం (reflecting goniometer), దీనికంటే సున్నితమైన, ఉత్కృష్టమైన ఏకవృత్త కోణమాపకం (Single - Circle goniometer), 1874లో ఇంగ్లాండ్‌కు చెందిన మిల్లర్, 1889లో రష్యాకు చెందిన ఫెడరోవ్, 1893లో జర్మనీకి చెందిన జాప్కి, గోల్డ్‌స్మిత్ అనే శాస్త్రజ్ఞులు

ముఖాలు సాధారణంగా నున్నటి సమతలాలుగా ఉండి దర్పణం మాదిరిగా కాంతి కిరణాలను పరావర్తనం చేస్తాయనే ధర్మాన్ని ఆధారంగా చేసుకొని ఈ కోణమాపకాలను రూపొందించారు.



పటం 2.15 స్పర్శకోణమాపకం

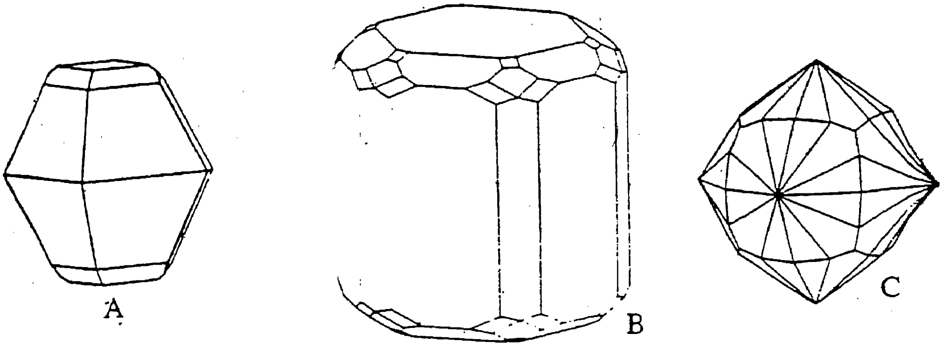
పటంలో చూపిన ముఖాల అంతర్ముఖ కోణం 60^0

3

స్ఫటిక సౌష్ఠవం

(Crystal Symmetry)

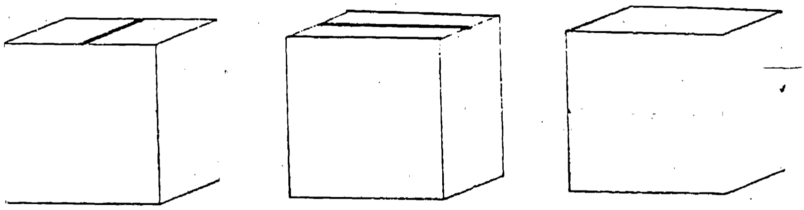
'స్ఫటికం' అనే పదం నిర్వచనంలో స్ఫటిక పదార్థం ఏర్పడటానికి దానిలోని పరమాణువులు లేదా అయాన్‌లు ఒక క్రమమైన పద్ధతిలో అమరి ఉండటం ప్రధాన, ఆవశ్యక అంశంగా చెప్పుకొన్నాము. ఈ పరమాణువుల అమరికను అంతరాళ జాలకాల లేదా ప్రమాణ కోష్ఠికల పరికల్పనల ఆధారంగా వివరించినప్పుడు, ప్రతి స్ఫటికం ఒక నిర్దిష్టమైన అంతరాళ జాలకం లేదా ప్రమాణ కోష్ఠిక త్రిమితీయంగా పునరావృతం చెందడం వల్ల రూపొందుతుందని చెప్పాం. ప్రమాణ కోష్ఠికల పునరావృతం క్రమమైన రీతిలో జరుగుతుంది కాబట్టి, తద్వారా రూపొందిన స్ఫటికం బాహ్య స్వరూప లక్షణాలలో కూడా క్రమత్వం (regularity or orderliness) కనిపిస్తుంది (పటం 3.1). దీనిని ముఖాల, అంచుల లేదా మూలల స్థానాల పరిశీలన నుంచి తెలుసుకోవచ్చు. స్ఫటికం యొక్క సదృశ ముఖాల, అంచుల లేదా మూలల అమరికలో కనిపించే క్రమత్వాన్నే (regularity) స్ఫటిక సౌష్ఠవం (crystal symmetry) అంటారు. పైన చెప్పినట్లు బాహ్యంగా కనిపించే ఈ సౌష్ఠవం స్ఫటికం నిర్మాణానికి కారణమైన అంతరాళ జాలకం లేదా ప్రమాణకోష్ఠికల రీతిపై ఆధారపడి ఉంటుంది. ప్రస్తుత పాఠ్యభాగంలో స్ఫటికాల అంతర్ సౌష్ఠవాన్ని ప్రతిబింబించే బాహ్య సౌష్ఠవం లేదా జ్యామితీయ సౌష్ఠవం గురించి మాత్రమే వివరించాం. వేరువేరు స్ఫటికాలలో సౌష్ఠవం వేరువేరుగా ఉంటుంది కాబట్టి స్ఫటికాల వర్గీకరణలో స్ఫటిక సౌష్ఠవాన్ని ఒక ముఖ్యమైన ఆధారంగా ఎంచుకొన్నారు.



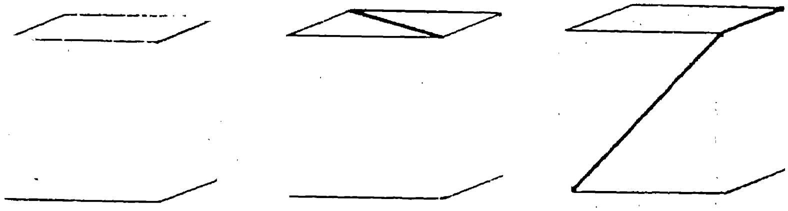
పటం 3.1 సదృశ ముఖాల, అంచుల, మూలల అమరికలో క్రమత్వం చూపే స్ఫటికాలు
A: సల్ఫర్, B: బెరిల్, C: సిల్వర్.

అనుగుణంగా స్ఫటికం సౌష్ఠవాన్ని చూపితే ఆ సమతలాన్ని సౌష్ఠవ సమతలమని, ఒక అక్షానికి అనుగుణంగా స్ఫటికం సౌష్ఠవం చూపితే ఆ అక్షాన్ని సౌష్ఠవాక్షం అనీ, కేంద్రానికి అనుగుణంగా స్ఫటికం సౌష్ఠవం చూపితే ఆ కేంద్రాన్ని సౌష్ఠవ కేంద్రం అనీ అంటారు. ఈ మూడింటినీ కలిపి సౌష్ఠవ మూలకాలు (symmetry elements) అంటారు.

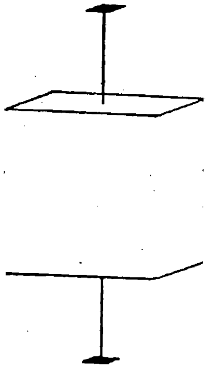
సౌష్ఠవ సమతలం (plane of symmetry) : స్ఫటికంలోని ఒక ఊహాత్మక సమతలానికి ఒక వైపున ఉన్న ముఖం, అంచు, మూలలకు సదృశమైన ముఖం, అంచు, మూలలు ఆ సమతలానికి మరొక వైపున అనురూప (corresponding) స్థానాలలో ఉన్నట్లయితే ఆ స్ఫటికం ఆ సమతలానికి అనుగుణంగా సౌష్ఠవాన్ని చూపుతుందని, ఆ సమతలాన్ని సౌష్ఠవ సమతలం అనీ అంటారు. మరో విధంగా చెప్పవలెనంటే సౌష్ఠవ సమతలం స్ఫటికాన్ని సదృశ స్థానాలలో ఉన్న రెండు సమాన, సరూప భాగాలుగా విభజిస్తుంది. ఈ రెండు భాగాలు ఒక దానికొకటి దర్పణ ప్రతిబింబాలు (mirror images) గా ఉంటాయి. అందువల్ల ఈ రకం సౌష్ఠవాన్ని పరావర్తన సౌష్ఠవం (reflection symmetry) అని అంటారు. ఉదాహరణకు షట్పార్శ్వికలోని మూడు అక్షసమతలాలు, ఆరు వికర్ణ సమతలాలు సౌష్ఠవ సమతలాలే (పటం 3.2, 3.3). ఇటుకను పోలిన స్ఫటకంలో మూడు అక్షసమతలాలు మాత్రమే సౌష్ఠవ సమతలాలు, వికర్ణ సమతలాలు సౌష్ఠవ సమతలాలు కావు.



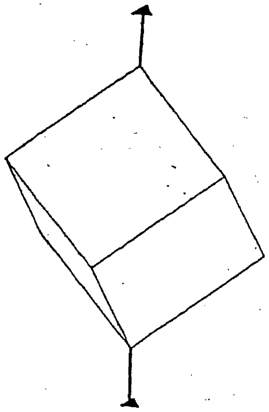
పటం 3.2 షట్పార్శ్వికలో సౌష్ఠవ అక్ష సమతలాలు. ఇవి షట్పార్శ్వక ముఖాలకు సమాంతరంగా ఉన్నాయి



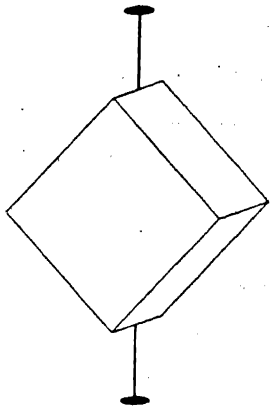
సౌష్ఠవాక్షం (axis of symmetry) : స్ఫటికాన్ని ఏ అక్షంమీదనైనా 360° భ్రమణం చేస్తే అది తిరిగి పూర్వస్థానానికి వస్తుంది. కొన్ని స్ఫటికాలు ఒక పూర్తి భ్రమణం (360°) లోపలే ఒకసారికన్న ఎక్కువ సార్లు సర్వసమస్థానాలను ఆక్రమించినట్లు కనిపిస్తాయి. ఇటువంటి భ్రమణాక్షాన్ని సౌష్ఠవాక్షం అంటారు. ఒక స్ఫటికాన్ని ఏ అక్షం మీదనైనా 360° పూర్తిగా భ్రమణం చేసినప్పుడు ఆ స్ఫటికం అంతరాళంలో ఒకటికన్న ఎక్కువసార్లు సర్వసమస్థానాలను ఆక్రమిస్తే ఆ అక్షాన్ని సౌష్ఠవాక్షం అని నిర్వచిస్తారు. భ్రమణాక్షాన్ని బట్టి స్ఫటికం ఒక పూర్తి భ్రమణంలో సర్వసమ స్థానాన్ని రెండుసార్లు, మూడుసార్లు, నాలుగు సార్లు, లేదా ఆరుసార్లు పొందవచ్చు. ఇటువంటి సౌష్ఠవాక్షాలను వరసగా ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం (axis of two - fold symmetry or diad axis), త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం (axis of three-fold symmetry or triad axis), చతురావృత్త సౌష్ఠవాక్షం (axis of four-fold symmetry or tetrad axis), షడావృత్త సౌష్ఠవాక్షం (axis of six-fold symmetry or hexad axis) అనీ, ఈ రీతి సౌష్ఠవాన్ని భ్రమణ సౌష్ఠవం (rotary symmetry) అనీ అంటారు. ఉదాహరణకు షట్‌పార్శ్వికలో ఎదురెదురు ముఖాల మధ్య బిందువులను కలిపే మూడు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు చతురావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు (పటం 3.4); ఎదురెదురు మూలలను కలిపే నాలుగు వికర్ణాక్షాలు త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు (పటం 3.5); ఎదురెదురు అంచుల మధ్య బిందువులను కలిపే ఆరు వికర్ణాక్షాలు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు (పటం 3.6). షట్ పార్శ్వికలోని పదమూడు సౌష్ఠవాక్షాలను పటం 3.7లో చూడవచ్చు. అక్షాల సౌష్ఠవస్థాయిని సూచించడానికి వాడే చిహ్నాలను పటం 3.8లో చూడవచ్చు. ఇటుకను పోలిన స్ఫటికంలో ఎదురెదురు ముఖాల మధ్య బిందువులను కలిపే మూడు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు. ఎదురెదురు మూలలను, అంచుల మధ్య బిందువులను కలిపే వికర్ణాక్షాలు సౌష్ఠవాక్షాలు కావు.



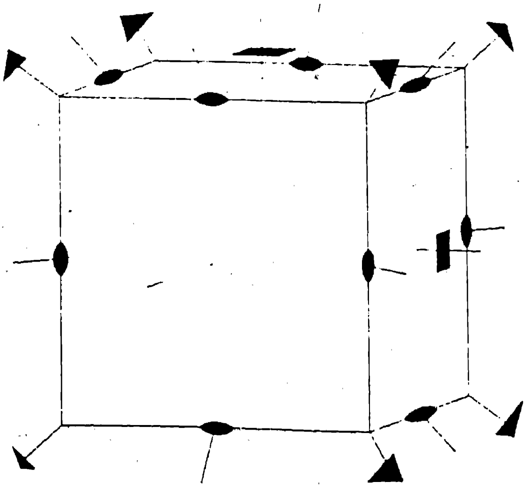
పటం 3.4 షట్ పార్శ్వికలోని ఒకచతురావృత్తసౌష్ఠవాక్షం



పటం 3.5 షట్ పార్శ్వికలోని ఒక త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం



పటం 3.6 షట్‌పార్శ్వికలోని
ఒక ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం



పటం 3.7 షట్ పార్శ్వికలోని
పదమూడు సౌష్ఠవాక్షాలు

2 3 4 6

పటం 3.8 అక్షాల సౌష్ఠవస్థాయిని సూచించే చిహ్నాలు
2 – ద్విరావృత్త సౌష్ఠవం; 3 – త్రిరావృత్త సౌష్ఠవం;
4 – చతురావృత్త సౌష్ఠవం; 6 – షడావృత్త సౌష్ఠవం

పైన వివరించిన సౌష్ఠవ సమతలాలలో, సౌష్ఠవాక్షాలలో ఒకేరీతి సౌష్ఠవ ధర్మాన్ని చూపే సౌష్ఠవ సమతలాలను సదృశ (like) సౌష్ఠవ సమతలాలనీ, ఒకే రీతి సౌష్ఠవ ధర్మాన్ని చూపే సౌష్ఠవాక్షాలను సదృశ సౌష్ఠ వాక్షాలని అంటారు. ఏదైనా ఒక సౌష్ఠవ సమతలంలో రెండు లేదా ఎక్కువ సదృశ సౌష్ఠవాక్షలు ఉంటే దానిని ప్రధాన సౌష్ఠవ సమతలం (principal plane of symmetry) అనీ, రెండు లేదా ఎక్కువ సదృశ సౌష్ఠవ సమతలాలు కలిసే సౌష్ఠవాక్షాన్ని ప్రధాన సౌష్ఠవాక్షం (principal axis of symmetry) అనీ అంటారు.

సౌష్ఠవ కేంద్రం (centre of symmetry) : స్ఫటికంలోని ప్రతిముఖానికి సమాంతరంగా సదృశమైన మరొకముఖం, ప్రతి అంచుకు సమాంతరంగా సదృశమైన మరొక అంచు, ప్రతి మూలకు సదృశమైన మరొక మూల ఒకదానికొకటి ఎదురెదురుగా, వ్యాసరేఖీయంగా (diametrically opposite) అమరి ఉంటే, ఆస్ఫటికం కేంద్రం సౌష్ఠవ కేంద్రం అవుతుంది. ఆస్ఫటికానికి సౌష్ఠవ కేంద్రం ఉంది అని అంటారు. ఇటువంటి సౌష్ఠవాన్ని విలోమన సౌష్ఠవం

(inversion symmetrry) అంటారు. షట్ పార్శ్వికలోను, ఇటుకను పోలిన స్ఫటికంలోను సౌష్ఠవ కేంద్రం ఉంటుంది.

పైన ఉదాహరణలుగా చెప్పిన షట్పార్శ్వికలోని, ఇటుకను పోలిన స్ఫటికంలోని సౌష్ఠవ మూలకాలను కింద చూపిన విధంగా సంక్షిప్తరూపంలో రాయవచ్చు.

<u>షట్పార్శ్విక</u>	ఇటుకనుపోలిన స్ఫటికం
సౌష్ఠవ సమతలాలు :	**సౌష్ఠవ సమతలాలు :**
3 సౌష్ఠవ అక్ష సమతలాలు (3 Ax. P.)	3 సౌష్ఠవ అక్ష సమతలాలు (3 Ax. P.)
6 సౌష్ఠవ వికర్ణ సమతలాలు (6 Diag.P.)	
సౌష్ఠవాక్షాలు :	**సౌష్ఠవాక్షాలు :**
3 చతురావృత్త సౌష్ఠవ స్ఫటికరేఖీయాక్షాలు ($3Xl.Ax.^{iv}$)	3 ద్విరావృత్త సౌష్ఠవ స్ఫటికరేఖీయాక్షాలు ($3Xl.Ax^{ii}$)
4 త్రిరావృత్త సౌష్ఠవ వికర్ణాక్షాలు ($4\ Diag.\ Ax.^{iii}$)	
6 ద్విరావృత్త సౌష్ఠవ వికర్ణాక్షాలు ($6\ Diag.\ Ax.^{ii}$)	
సౌష్ఠవ కేంద్రం :	**సౌష్ఠవకేంద్రం :**
ఉంది (C.)	ఉంది (C.)

పైన ఇచ్చిన సంక్షిప్తరూపాల వివరణను కింద చూడవచ్చు.

Ax.P.	:	Axial plane of symmetry
Diag.P.	:	Diagonal plane of symmetry
Xl.Ax.	:	Crystallographic axis of symmetry
Diag.Ax.	:	Diagonal axis of symmetry
C.	:	Centre of symmetry

సౌష్ఠవాక్షాలకు కుడివైపున ఎగువన ఇచ్చిన సంఖ్య భ్రమణ సౌష్ఠవ స్థాయిని తెలుపుతుంది.

స్ఫటిక రూప చిహ్నాలు

(Symbols of Crystal Forms)

ప్రతి స్ఫటికం ఆకృతి దానిలోని రూపాల ముఖాల సంఖ్య, ఆముఖాల ఆకారాల మీద ఆధారపడి ఉంటుంది. సంవృత రూపాలలో నాలుగు ముఖాల నుంచి, నలభై ఎనిమిది ముఖాల వరకు, వివృత రూపాలలో ఒక ముఖంనుంచి పన్నెండు ముఖాల వరకు ఉండటానికి వీలుంది. ఒక రూపంలోని ముఖాల సంఖ్య, వాటి ఆకారాలు ఆరూపంలో ముఖం స్థానం (position) వల్ల, ఆ ముఖానికి సౌష్ఠవ మూలకాలతో ఉన్న సంబంధంవల్ల నిర్ధారితమవుతాయి. సాధారణంగా ఒక రూపంలో ముఖం స్థానాన్ని స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలకు అనుగుణంగా, స్ఫటిక రూపం కేంద్రం నుంచి ఆముఖం ఉన్న దూరాలు, మరోవిధంగా చెప్పవలెనంటే ఆముఖం స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలపై చేసే అంతర్ ఖండనాలు (intercepts), ఆధారంగా వర్ణిస్తారు. అందువల్ల స్ఫటిక రూపాల అధ్యయనంలో ముఖాలు స్ఫటికరేఖీయాక్షాలపై చేసే అంతర్ ఖండనాలకు ఎంతో ప్రాధాన్యం ఉంది.

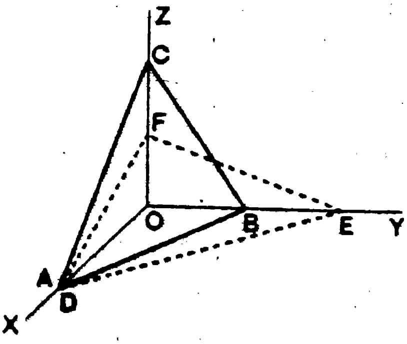
స్ఫటిక శాస్త్రజ్ఞులు వివిధ స్ఫటిక రూపాలను, వాటిలోని ముఖాలను సూచించడానికి కొన్ని చిహ్నాలను (symbols) రూపొందించారు. ముఖాల స్థానాలను నిర్దేశించే అంతర్ ఖండనాల ఆధారంగా ఈ చిహ్నాలను రూపొందించడం జరిగింది. ఈ చిహ్నాలలో రెండు విధాలు ఉన్నాయి. మొదటిది 'పరామితులు', రెండవది 'సూచికాంకాలు'.

పరామితులు (parameters)

ఒక స్ఫటిక ముఖం లేదా సమతలం స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలపై చేసే సాపేక్ష అంతర్ ఖండనాలను, అంటే అంతర్ ఖండనాల నిష్పత్తిని 'పరామితులు' అంటారు. ఒక ముఖం స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలపై చేసే అంతర్ ఖండనాలను ఆయా అక్షాలకు సంబంధించి నిర్ధారించిన ప్రమాణ దూరాల (unit distances) పరంగా వాటి గుణకాంకాలు (multiples) గా తెలియజేస్తారు. స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలపై ప్రమాణ దూరాలను నిర్ధారించడానికి ఆ స్ఫటికం ప్రమాణ కోష్ఠిక ఆధారంగా అక్షాలన్నిటినీ ఖండించే ఒక సమతలాన్ని ఎంచుకొంటారు. ఈతలం స్ఫటికానికి ప్రమాణ దూరాలను లేదా పరామితులను నిర్ణయించడానికి ఆధారంగా ఉంటుంది. కాబట్టి దీనిని పరామితీయ సమతలం (parametral plane) అనీ, సమతలం ఏరూపానికి చెందుతుందో ఆరూపాన్ని పరామితీయ రూపం (parametral form) అనీ, లేదా ప్రమాణ రూపం (unit form) అనీ అంటారు. ఈ సమతలం a-అక్షంపై చేసే అంతర్ ఖండనం, అంటే a-అక్షంపై ప్రమాణదూరం 'a', 'b' అక్షంపై చేసే అంతర్ ఖండనం, అంటే b- అక్షంపై ప్రమాణ దూరం 'b',c- అక్షంపై చేసే అంతర్ ఖండనం అంటే c- అక్షంపై ప్రమాణ దూరం 'c' అయితే, స్ఫటికం యొక్క ఏదైనా ఒక ముఖం స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను ప్రమాణ దూరాలలో ఖండిస్తే ఆముఖం పరామితులు 1a, 1b, 1c అవుతాయి. ఇటువంటి ముఖాన్ని ప్రమాణముఖం (unit face) అంటారు. అదేవిధంగా a-అక్షంపై p ప్రమాణ దూరాలు, b-అక్షంపై q ప్రమాణదూరాలు, c-అక్షంపై r ప్రమాణ దూరాలు ఖండించే

ముఖం పరామితులను pa, qb, rc గా రాస్తారు. ఏదైనా ముఖం a- అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటే p విలువ '∞' (infinite) అవుతుంది. b-అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటే q విలువ ' ∞ ' అవుతుంది. c-అక్షానికి సమాతరంగా ఉంటే r విలువ '∞' అవుతుంది. ముఖాలు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను ఋణాత్మక దిశలో ఖండిస్తే పరామితులను ఋణ సంజ్ఞతో సూచిస్తారు. ఉదాహరణకు ఏదైనా ముఖం a- అక్షాన్ని ధనదిశలో 2 ప్రమాణ దూరాలలో, b- అక్షాన్ని ఋణ దిశలో ఒక ప్రమాణ దూరంలో ఖండించి, c- అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటే దాని పరామితులను 2a,-1b, ∞c గా రాస్తారు. స్ఫటికంలోని ముఖాల స్థానాలను ఈ విధంగా పరామితుల ద్వారా సూచించే విధానాన్ని వైస్ పద్ధతి (Weiss notation) అంటారు.

పటం 4.1లో OX, OY, OZ లు వరసగా a,b,c అక్షాలను సూచిస్తూ, ముఖం ABC పరామితీయ సమతలం అయితే, a- అక్షంమీద ప్రమాణ దూరం OA, b-అక్షంమీద ప్రమాణ దూరం OB, c- అక్షంమీద ప్రమాణ దూరం OC అవుతాయి. ఈ ముఖం పరామితులను, 1a, 1b, 1c గా రాస్తారు. ఈ ముఖానికి అనుగుణంగా ముఖం DEF a- అక్షంపై చేసే అంతర్ ఖండనం OD = OA = 1 ప్రమాణదూరం, b-అక్షంపై చేసే అంతర్ ఖండనం OE = 2 OB = 2 ప్రమాణ దూరాలు, c- అక్షంపై చేసే అంతర్ ఖండనం OF = 1/2 OC = 1/2 ప్రమాణ దూరం అవుతాయి. అందువల్ల ముఖం DEF పరామితులు 1a, 2b, $\frac{1}{2}$c అవుతాయి.



పటం 4.1 పరామితీయ సమతలం (ABC), దానికి అను DEF సమతలం పరామితులు

సూచికాంకాలు (Indices)

స్ఫటికాల అధ్యయనంలో వాడే గణితశాస్త్ర పద్ధతులలో పరామితులను యథాతథంగా వాడటం వీలుకాక పోవడంవల్ల స్ఫటికరేఖీయ అక్షాలతో ముఖాలకున్న సంబంధాలను సూచించడానికి పరామితుల నుంచి ఉత్పాదన చేసిన సరళమైన, క్లుప్తమైన చిహ్నాలను వాడతారు. వీటినే సూచికాంకాలు అంటారు. వీటిని ఇంగ్లాండ్‌కు చెందిన W.H. మిల్లర్ రూపొందించాడు. అందువల్ల వీటిని మిల్లర్ సూచికాంకాలు లేదా మిల్లర్ చిహ్నాలు (Millerian symbols) అనీ, ఈ విధానాన్ని మిల్లర్ పద్ధతి (Miller's notation) అనీ అంటారు. ప్రస్తుతం ఈ పద్ధతినే స్ఫటిక శాస్త్రజ్ఞులు అనుసరిస్తున్నారు. పరామితుల వ్యుత్క్రమాల (reciprocals) నే సూచికాంకాలు అంటారు.

పరామితుల నుంచి సూచికాంకాలను ఉత్పాదన చేయడానికి మొదట పరామితుల వ్యుత్క్రమాల (reciprocals) ను తీసుకోవాలి; తరవాత వాటిలో భిన్నాలుంటే వాటిని సూక్ష్మీకరించాలి. ఉదాహరణకు-

పరామితులు 1a, 2b, 3c అనుకుంటే

వాటి వ్యుత్క్రమాలు $\frac{1}{1}a, \frac{1}{2}b, \frac{1}{3}c$ అవుతాయి

భిన్నాలను సూక్ష్మీకరించడానికి వాటి హారాల క.సా.గు.ను తీసుకొని వీటిని $\frac{6}{6}a, \frac{3}{6}b, \frac{2}{6}c$, గా రాయవచ్చు. ఇప్పుడు అన్నిభిన్నాలలో హారాలు సమానం కాబట్టి దీనిని సూక్ష్మంగా 6a,3b, 2c గా రాయవచ్చు. సాధారణంగా అక్షాలను సూచించే అక్షరాలను (a,b,c లను) వదలివేసి మూడు సంఖ్యలను పక్కపక్కన 632 గా రాస్తారు. దీనిని ఆరు, మూడు, రెండు అని చదువుతారు. మరికొన్ని ఉదాహరణలను కింద చూడవచ్చు.

పరామితులు	వ్యుత్క్రమాలు	సూచికాంకాలు
$\frac{1}{2}a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{4}c,$	2a, 3b, 4c	234
1a, 1b, 1c	$\frac{1}{1}a, \frac{1}{1}b, \frac{1}{1}c,$	111
1a, 1b, 2c	$\frac{1}{1}a, \frac{1}{1}b, \frac{1}{2}c,$	221
1a, 2b, 2c	$\frac{1}{1}a, \frac{1}{2}b, \frac{1}{2}c,$	211
1a, 2b, 1c	$\frac{1}{1}a, \frac{1}{2}b, \frac{1}{1}c,$	212
2a, 1b, 1c	$\frac{1}{2}a, \frac{1}{1}b, \frac{1}{1}c,$	122
2a, 3b, 4c	$\frac{1}{2}a, \frac{1}{3}b, \frac{1}{4}c,$	643
2a, 3b, -4c	$\frac{1}{2}a, \frac{1}{3}b, -\frac{1}{4}c,$	$64\bar{3}$

ముఖం అక్షాలకు సమాంతరంగా ఉన్న సందర్భాలలో కింది విధంగా చేయాలి :

1a, ∝β, ∝c	$\frac{1}{1}a, \frac{1}{\propto}b, \frac{1}{\propto}c,$	100
1a, 1b, ∝c	$\frac{1}{1}a, \frac{1}{1}b, \frac{1}{\propto}c,$	110
1a, 2b, ∝c	$\frac{1}{1}a, \frac{1}{2}b, \frac{1}{\propto}c,$	210

పై ఉదాహరణలలో ఏసంఖ్యనైనా ∝ తో భాగిస్తే దాని విలువ సున్న అవుతుందనే విషయం గమనించాలి.

మిల్లర్ సూచికాంకాలు పరామితుల, అంటే అంతర్ ఖండనాల, వ్యుత్క్రమాలు కాబట్టి సూచికాంకాలలో అంకె విలువ ఎక్కువయ్యే కొద్దీ, అంతర్ ఖండనం విలువ తక్కువ అవుతుంది. ఉదాహరణకు 321 సూచికాంకాలుగా ఉన్న ముఖం a-అక్షంపైన చేసే అంతర్ ఖండనం b-అక్షంపై చేసే అంతర్ ఖండనం కన్న తక్కువ, ఈ రెండూ c-అక్షంపై చేసే అంతర్ ఖండనం కన్న తక్కువ ఉంటాయన్నమాట. ఒక ముఖం చేసే అంతర్ ఖండనాలను లేదా దాని పరామితులను తెలుసుకోవడానికి పరామితుల నుంచి సూచికాంకాలను ఉత్పాదన చేయడానికి అనుసరించిన పద్ధతినే అనుసరించాలి. ఉదాహరణకు

ఒకముఖం సూచికాంకాలు 321 అయితే

వాటి వ్యుత్క్రమాలు $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{1}$

భిన్నాలను తొలగించడానికి క.సా.గు తీసుకుంటే అవి $\frac{2}{6}$, $\frac{3}{6}$, $\frac{6}{6}$ వస్తాయి.

ఆ ముఖం పరామితులు 2a, 3b, 6c అవుతాయి.

అంటే 321 ముఖం a -అక్షంపై 2 ప్రమాణ దూరాలు, b-అక్షంపై 3 ప్రమాణదూరాలు, c-అక్షంపై 6 ప్రమాణదూరాలు అంతర్ ఖండనాలను చేస్తుందని తెలుస్తుంది.

అదే విధంగా సూచికాంకాలలో సున్న ఉన్న అక్షానికి ముఖం సమాంతరంగా ఉంటుందని కూడా గమనించాలి.

మిల్లర్ సూచికాంకాలను ముఖాలకేకాక, రూపాలకు కూడా చిహ్నాలుగా వాడతారు. రూపాల చిహ్నాలను బ్రాకెట్లలో రాస్తారు. ఒక సరళ రూపంలో ఉండే ముఖాలకు, స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలకు ఉండే సంబంధాలను తెలియజేస్తూ ఆ రూపం చిహ్నాన్ని రూపొందిస్తారు. ఉదాహరణకు షట్ పార్శ్వికలోని ముఖాలు అన్నీ ఏదో ఒక స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాన్ని ఖండిస్తూ, మిగిలిన రెండింటికి సమాంతరంగా ఉంటాయి. ఈ లక్షణాన్ని సూచించడానికి (100) అనే చిహ్నాన్ని వాడతారు అంటే షట్ పార్శ్వక రూపం చిహ్నం (100) అన్నమాట. దాని ఆరు ముఖాల సూచికాంకాలు - 100 (ఎదురు ముఖం), $\bar{1}00$ (వెనకవముఖం), 010 (కుడివైపువముఖం), $0\bar{1}0$ (ఎడమవైపుముఖం), 001 (పైముఖం), $00\bar{1}$ (కింది ముఖం). ఇదే విధంగా స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను మూడింటిని సమాన దూరాలలో ఖండించే ముఖాలు గల రూపం చిహ్నం (111) అవుతుంది. స్ఫటికరేఖీయాక్షాలను మూడింటిని వేరువేరు దూరాలలో ఖండించే ముఖాలుగల రూపాన్ని (hkl) చిహ్నంతో సూచిస్తారు. ఇట్లారాసినప్పుడు h > k > l గా ఉండాలి అంటే అంకెలను అవరోహణ క్రమంలో వ్రాయాలి. ఏఅంకెకైనా రుణసంజ్ఞ తప్పని సరి అయితే దానిని రెండు లేదా మూడో స్థానంలో ఉంచాలి.

స్ఫటిక రూపాల ముఖాలకు, స్ఫటికరేఖీయాక్షాలకు ఉండే సంబంధం ఆధారంగా చూస్తే గణితశాస్త్రపరంగా ఏడురీతుల సరళ రూపాలు ఉండటానికి వీలుందని తెలుస్తుంది. అవి.

1. ఒక స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాన్ని మాత్రమే ఖండించి మిగిలిన రెండింటికి సమాంతరం ఉన్న ముఖాలు గల రూపాలు - మిల్లర్ చిహ్నం (100)
2. రెండు స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలను సమానదూరాలలో ఖండిస్తూ, మూడవ అక్షానికి సమాంతరంగా ఉన్న ముఖాలు గల రూపాలు - మిల్లర్ చిహ్నం (110)

3. రెండు స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలను వేరువేరు దూరాలలో ఖండిస్తూ, మూడో అక్షానికి సమాంతరంగా ఉన్న ముఖాలు గల రూపాలు - మిల్లర్ చిహ్నం (210), (310), ... (hko)
4. మూడు స్ఫటిక రేఖీయక్షాలను సమానదూరాలలో ఖండించే ముఖాలు గల రూపాలు - మిల్లర్ చిహ్నం (111)
5. రెండు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను సమాన దూరంలో ఖండిస్తూ, మూడో అక్షాన్ని ఎక్కువ దూరంలో ఖండించే ముఖాలు గల రూపాలు - మిల్లర్ చిహ్నం (221), (331), (332),...... (hhl)
6. రెండు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను సమాన దూరాలలో ఖండిస్తూ, మూడో అక్షాన్ని తక్కువ దూరంలో ఖండించే ముఖాలు గల రూపాలు - మిల్లర్ చిహ్నం (211), (311), (322), ... (hll)
7. మూడు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను వేరువేరు దూరాలలో ఖండించే ముఖాలు గల రూపాలు - మిల్లర్ చిహ్నం (321),...... (hkl)

స్ఫటికాల సౌష్ఠవం ఆధారంగా చూసినా పైన చెప్పిన రీతుల రూపాలే సాధ్యమవుతాయి.

అకరణీయ సూచికాంకాల నియమం (Law of rational indices)

ఏదైనా స్ఫటిక ముఖం స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలపై చేసే అంతర్ ఖండనాలు అనంతమైనవిగా గాని (ముఖం అక్షానికి సమాంతరంగా ఉన్నప్పుడు) లేదా ప్రమాణ రూపం లేదా ప్రమాణ ముఖం చేసే అంతర్ ఖండనాల అకరణీయ గుణకాంకాలు (small rational multiples) గా గాని ఉంటాయని స్ఫటికాల అధ్యయనం నుంచి తెలియవచ్చింది. అందువల్ల అంతర్ ఖండనాల నుంచి రూపొందించిన సూచికాంకాలు కూడా స్వల్ప అకరణీయ సంఖ్యలతోనే కూడుకొని ఉంటాయనే నియమం వచ్చింది. దీనినే అకరణీయ సూచికాంకాల నియమం అంటారు. ఈ నియమాన్ని అనుసరించి ముఖాల అంతర్ ఖండనాలు 1a, 2b, 1/2c; 1a, 2b, αc మొదలైన రూపాలలోనే ఉంటాయిగాని 1a, √2b, 2cగా ఉండవు. అందువల్ల మిల్లర్ చిహ్నాలలోని h,k,lల విలువలు పూర్ణ సంఖ్యలు లేదా 0 అయి ఉంటాయి. సర్వసాధారణంగా మిల్లర్ చిహ్నాలలో 0,1 నుంచి 6 వరకు అంకెలు కనిపిస్తాయి.

అవధిరూపాలు (limiting forms), అస్థిర రూపాలు (variable forms)

ఒక స్ఫటిక రూపం యొక్క మిల్లర్ చిహ్నంలో స్థిరమైన సూచికాంకాలు ఉంటే దానిని అవధిరూపం అంటారు. ఉదాహరణకు (100) రూపానికి ఎప్పుడూ అదే చిహ్నం ఉంటుంది. కాని (hko) రూపానికి చిహ్నాలు (210), (310), (320) మొదలైనవి ఎన్నైనా ఉండవచ్చు. (100) రూపాన్ని అవధిరూపం అనీ, (hko) రూపాన్ని అస్థిర రూపం అనీ అంటారు. పైన వివరించిన ఏడురీతుల రూపాలలో (100), (110), (111) రూపాలు అవధిరూపాలు, (hko), (hh1), (hll), (hkl) రూపాలు అస్థిరరూపాలు అవుతాయి.

5
స్ఫటికాల వర్గీకరణ
(Classification of Crystals)

ప్రమాణ కోష్ఠికల లేదా అంతరాళ జాలకాల దృష్ట్యా వేరువేరు అంతర్నిర్మితులుగా ఎన్నో రకాల స్ఫటికాలు ఉండటానికి వీలుందని స్ఫటికాల అధ్యయనం ద్వారా తెలియవచ్చింది. స్ఫటికాల అధ్యయనాన్ని సరళతరంచేయడానికి వాటికి ఉన్న సదృశ లేదా భిన్న లక్షణాల ఆధారంగా వాటిని వర్గీకరించారు. స్ఫటికాల వర్గీకరణకు కింద ఇచ్చిన రెండు అంశాలు ముఖ్యమైన ఆధారాలు.

1. సౌష్ఠవ మూలకాలు
2. అక్ష లేదా స్ఫటిక మూలకాలు

పై అంశాలు ఆధారంగా చేసిన స్ఫటిక వర్గీకరణలను కింద వివరించాం.

సౌష్ఠవ మూలకాలు ఆధారంగా వర్గీకరణ

ప్రతి స్ఫటికంలోను దాని అంతర్నిర్మితి, బాహ్య ఆకృతి రీత్యా నిర్దిష్టమైన సౌష్ఠవం కనిపిస్తుందని, స్ఫటిక సౌష్ఠవాన్ని సౌష్ఠవ మూలకాలు - సౌష్ఠవ సమతలం, సౌష్ఠవ అక్షం, సౌష్ఠవ కేంద్రం- ఆధారంగా అధ్యయనం చేయవచ్చని అధ్యాయం 3 లో చెప్పుకొన్నాం. ప్రతి స్ఫటికం దానికి అభిలాక్షణికమైన కొన్ని సౌష్ఠవ మూలకాలను చూపుతుంది. అధ్యాయం 3 లో చెప్పినట్లు షట్ పార్శ్వక మొత్తం మీద 23 సౌష్ఠవ మూలకాలను చూపితే, ఇటుకను పోలి ఉండే స్ఫటికం కేవలం 7 సౌష్ఠవ మూలకాలను మాత్రమే చూపుతుంది. ఒకే రీతి సౌష్ఠవ మూలకాలను చూపే స్ఫటికాలు ఒకే సముదాయానికి చెందుతాయి. ఈ విధంగా సౌష్ఠవ మూలకాలు ఆధారంగా స్ఫటికాలను సౌష్ఠవ విభాగాలు (symmetry classes)గా విభజించారు. స్ఫటికాలను నిర్దిష్టమైన అంతర్నిర్మితి కలిగి ఉండి, ఆ అంతర్నిర్మితిని బాహ్యంగా ప్రతిబింబించే క్రమమైన త్రిమితీయ, జ్యామితీయ స్వరూపాలుగా పరిగణిస్తారు కాబట్టి, గణితశాస్త్ర విధానాల ద్వారా ప్రకృతిలో స్ఫటికాలు 32 రీతుల సౌష్ఠవమూలక సముదాయాలను చూపడానికి వీలుందని కనుక్కొన్నారు. దీని ఆధారంగా స్ఫటికాలను మొత్తం 32 సౌష్ఠవ విభాగాలుగా వర్గీకరించారు. ఈ విభాగాల పేర్లను, వాటి అభిలాక్షణిక సౌష్ఠవ మూలకాలను ఈ అధ్యాయం చివరలో చూడవచ్చు.

అక్ష మూలకాలు ఆధారంగా వర్గీకరణ

స్ఫటికాలు త్రిమితీయ జ్యామితీయ రూపాలు కాబట్టి వాటి అధ్యయనానికి కొన్ని నిర్దేశకాక్షాలను అంటే స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను ఊహించడం అవసరం అనీ, ఈ అక్షాలు సాధారణంగా ఆయా స్ఫటికాల ప్రమాణ కోష్ఠికల అంచులకు సమాంతరంగా ఉంటాయనీ అధ్యాయం 2లోను, స్ఫటికాల ముఖాల పరామితులను తెలుసుకోవడానికి ప్రతి స్ఫటికానికి దాని ప్రమాణ కోష్ఠిక ఆధారంగా స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలపై ప్రమాణ దూరాల అంతర్ ఖండనాలు చేసే పరామితీయ ముఖాన్ని ఎంచుకొంటారని అధ్యాయం 4 లోను చెప్పుకొన్నాం. దీనిని బట్టి స్ఫటికాల అధ్యయనంలో ప్రమాణ కోష్ఠిక కున్న ప్రాముఖ్యం అర్థమవుతుంది. ఒక స్ఫటికం

ప్రమాణ అంతర్ ఖండనాలను సాధారణంగా నిష్పత్తి రూపంలో తెలియజేస్తారు. ఈ నిష్పత్తిని అక్ష నిష్పత్తి (axial ratio) (a:b:c) అంటారు. షట్ పార్శ్విక పరామితీయ ముఖం a,b,c అక్షాలపై సమాన అంతర్ ఖండనాలను చేస్తే, ఇటుకను పోలిన స్ఫటిక రూపం పరామితీయ ముఖం a,b,c అక్షాలపై వేరువేరు అంతర్ ఖండనాలను చేస్తుంది. షట్ పార్శ్విక అక్షనిష్పత్తిని a=b=c లేదా a:a:a లేదా 1:1:1 గా రాస్తే, ఇటుకను పోలిన స్ఫటికం అక్షనిష్పత్తిని $a \neq b \neq c$ లేదా a:b:c గా రాస్తారు. వేరువేరు స్ఫటికాలకు అక్షనిష్పత్తులు వేరువేరుగా ఉంటాయి. పైన ఉదహరించిన రెండు రకాల స్ఫటిక రూపాలలో స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు ఒక దానికొకటి లంబంగా ఉంటాయి. అంటే వాటి మధ్య కోణాలు సమానమన్నమాట. అయితే అన్ని స్ఫటికాలలోను ఈ విధంగా ఉండనక్కరలేదు. కొన్ని స్ఫటికాలలో రెండు కోణాలు మాత్రమే సమానంగా ఉండవచ్చు. మరికొన్నింటిలో మూడు అసమానంగా ఉండవచ్చు. స్ఫటికరేఖీయాక్షాల మధ్య ఉండే కోణాలను అక్షకోణాలు (axial angles) అంటారనీ, వీటిని α,β,γ లతో సూచిస్తారని అధ్యాయం 2 లో చెప్పుకొన్నాం.

స్ఫటికాలలో ఎక్కువ భాగం మూడు స్ఫటికరేఖీయాక్షాలకు చెందినవే అయినప్పటికీ, కొన్ని స్ఫటికాల విషయంలో వాటి ప్రమాణ కోష్ఠికల స్వభావం దృష్ట్యా నాలుగు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను ఊహించవలసి వస్తుంది. ఈనాలుగు అక్షాలలో మూడు అక్షాలు సమానంగాను, క్షితిజసమాంతరంగాను ఉంటాయి. వీటిని a_1, a_2, a_3 అక్షాలు అని అంటారు. వీటికి లంబంగా క్షితిజలంబ అక్షం ఉంటుంది. దీనిని ఇతర స్ఫటికాలలో మాదిరిగానే 'c' అక్షం అని పిలుస్తారు. a_1, a_2, a_3 అక్షాలకు, c అక్షానికి మధ్య కోణాలను β_1,β_2,β_3 లుగా, a1, a2, a3 అక్షాలమధ్య కోణాలను $\gamma_1,\gamma_2,\gamma_3$ లుగా వ్యవహరిస్తారు.

పైన వివరించిన అక్ష నిష్పత్తి, అక్షకోణాలు ఈ రెండింటినీ కలిపి అక్షమూలకాలు (axial elements) లేదా స్ఫటిక మూలకాలు (crystal elements) అంటారు. అక్షమూలకాలు ఆధారంగా స్ఫటికాలను 6 స్ఫటిక వ్యవస్థలుగా విభజించారు.

నిజానికి సౌష్ఠవ మూలకాలు ఆధారంగా చేసిన వర్గీకరణ, అక్ష మూలకాలు ఆధారంగా చేసిన వర్గీకరణ ఒక దానికొకటి పరస్పర సంబంధం కలిగినవేగాని ఒకదాని నుంచి మరొకటి భిన్నమైనవికావు. ఒక స్ఫటికంలోని సౌష్ఠవ మూలకాలు అంతర్నిర్మితి మీద ఆధారపడినటువంటివి; అంతర్నిర్మితికి మూలం ప్రమాణ కోష్ఠిక లేదా అంతరాళ జాలకం. అందువల్ల పైరెండు రకాల వర్గీకరణలు భిన్న అంశాలు ఆధారంగా చేసినవిగా కనిపించినప్పటికీ, రెండింటినీ ఒక దానికొకటి సంధానం చేయవచ్చు. మరొక విధంగా చెప్పవలెనంటే 32 సౌష్ఠవ విభాగాలు 6 స్ఫటిక వ్యవస్థల కిందికి వస్తాయన్నమాట. ఒక్కొక్క స్ఫటిక వ్యవస్థలోని విభాగాల సౌష్ఠవమూలకాలను పరిశీలిస్తే, అవి వేరువేరు సముదాయాలుగా ఉన్నప్పటికీ, ఆ విభాగాలన్నిటికీ ఏదో ఒక సౌష్ఠవ మూలకం ఉమ్మడి లక్షణంగా కనిపిస్తుంది. అంటే ఒక స్ఫటిక వ్యవస్థకు చెందిన అన్ని స్ఫటికాలకూ కనీసం ఒక సౌష్ఠవ మూలకమైన ఉమ్మడిగా ఉంటుందన్నమాట. అందువల్లనే కొందరు స్ఫటిక శాస్త్రజ్ఞులు స్ఫటిక వ్యవస్థల వర్గీకరణకు ఈ ఉమ్మడి సౌష్ఠవ మూలకాన్నే ఆధారంగా పరిగణిస్తారు.

ఆరు స్ఫటిక వ్యవస్థల పేర్లను, వాటి అక్షమూలకాలను, ఆ వ్యవస్థ కిందికి వచ్చే సౌష్ఠవ విభాగాల సంఖ్యను, వాటి ఉమ్మడి సౌష్ఠవ మూలకాలను కింద ఇచ్చాము.

1. సమాక్ష వ్యవస్థ (isometric system)

ఈ వ్యవస్థలోని స్ఫటికాలను ఒక దానికొకటి లంబంగా ఉన్న మూడు సమాన స్ఫటికరేఖీయ అక్షాలకు అనుగుణంగా వర్ణిస్తారు. వీటిలో రెండు క్షితిజ సమాంతరాక్షాలు, మూడవది క్షితిజలంబాక్షం. మూడు అక్షాలు సమానంగా ఉంటాయి కాబట్టి వాటిని పరస్పరం మార్పిడి చేయవచ్చు. అంటే మూడు అక్షాలలో దేన్నైనా a-అక్షంగా, మరొక దానిని b-అక్షంగా, మూడో దానిని c-అక్షంగా తీసుకోవచ్చు. మూడు అక్షాలు సమానం కాబట్టి వాటిని అసమాన అక్షాలకు వాడే a,b,c అక్షరాలతో కాక, a_1, a_2, a_3 లుగా సూచిస్తారు. ఈ వ్యవస్థ అక్ష నిష్పత్తి a : b : c = a_1: a_2: a_3 =1:1:1. దీనినే a=b=c అని కూడా రాస్తారు. అక్ష కోణాలు $\alpha=\beta=\gamma=90^0$. 32 సౌష్ఠవ విభాగాలలో 5 విభాగాలు ఈ స్ఫటిక వ్యవస్థ కిందికి వస్తాయి. ఈ వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలన్నిటిలోను నాలుగు త్రిరావృత్త సౌష్ఠవ అక్షాలు తప్పకుండా ఉంటాయి. ఈ వ్యవస్థను షట్ పార్శ్వక వ్యవస్థ (cubic system) అని కూడా అంటారు.

2. చతుష్కోణ వ్యవస్థ (tetragonal system)

ఈవ్యవస్థలోని స్ఫటికాలను ఒకదాని కొకటి లంబంగా ఉన్న రెండు సమాన క్షితిజ సమాంతర స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలకు, ఒక అసమాన క్షితజలంబ స్ఫటిక రేఖీయాక్షానికి అనుగుణంగా వర్ణిస్తారు. రెండు క్షితిజ సమాంతరాక్షాలు సమానంగా ఉంటాయి కాబట్టి వీటిని పరస్పరం మార్పిడి చేయవచ్చు. ఈ అక్షాలను a_1, a_2 లుగా సూచిస్తారు. మూడో అక్షాన్ని అంటే క్షితిజ లంబాక్షాన్ని 'c' గా సూచిస్తారు. ఈ అక్షం మిగిలిన రెండు అక్షాలకన్న పొడవుగా ఉండవచ్చు లేదా పొట్టిగా ఉండవచ్చు. ఈ వ్యవస్థ అక్ష నిష్పత్తి a : b : c = a_1 : a_2: c =1:1:c దీనిని a=b≠c అని కూడా రాస్తారు. కోణాలు $\alpha=\beta=\gamma=90^0$. సౌష్ఠవ విభాగాలలో 7 విభాగాలు ఈ వ్యవస్థ కిందికి వస్తాయి. ఈ వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలన్నిటికీ ఒక చతురావృత్త సౌష్ఠవాక్షం తప్పకుండా ఉంటుంది

3. విషమాక్ష వ్యవస్థ (orthorhombic system)

ఈ వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలను ఒక దానికొకటి లంబంగా ఉన్న మూడు అసమాన స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలకు అనుగుణంగా వర్ణిస్తారు. వీటిలో రెండు క్షితిజ సమాంతరాక్షాలు, మూడో క్షితిజలంబాక్షం. ఈ వ్యవస్థ అక్ష నిష్పత్తి a:b:c. దీనిని a≠b≠c అని కూడా వ్రాస్తారు. అక్షకోణాలు $\alpha=\beta=\gamma=90^0$. సౌష్ఠవ విభాగాలలో 3 విభాగాలు ఈ వ్యవస్థకు చెందుతాయి. ఈ వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలన్నింటికీ మూడు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు ముఖ్యలక్షణం.

4. ఏకనత వ్యవస్థ (monoclinic system)

ఈ వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలలో మూడు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు అసమానంగా ఉంటాయి. వీటిలో a- అక్షం c- అక్షానికి లంబంగా కాక, కొంత కోణంలో ఉంటుంది. ఈ రెండు అక్షాలు ఒకే క్షితిజలంబ సమతలంలో ఉంటాయి. b- అక్షం ఈ సమతలానికి లంబంగా, అంటే a-, c అక్షాలకు లంబంగా ఉంటుంది. b- అక్షం ఒకటే క్షితిజ సమాంతర స్ఫటిక రేఖీయ అక్ష అన్నమాట. ఈ వ్యవస్థ అక్ష నిష్పత్తి a:b:c. దీనినే a≠b≠c అని కూడా రాస్తారు. అక్షకోణాలు $\alpha=\gamma=90^0$, $\beta > 90^0$. సౌష్ఠవ విభాగాలలో 3 విభాగాలు ఈ వ్యవస్థ కిందికి వస్తాయి. ఈ వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలన్నింటిలోను ఒక ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం తప్పకుండా ఉంటుంది.

5. త్రినత వ్యవస్థ (triclinic system)

ఈ వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలలో మూడు స్ఫటికరేఖీయాక్షాలు అసమానంగా ఉంటాయి. అక్షకోణాలు కూడా అసమానంగా ఉంటాయి. ఈ వ్యవస్థ అక్షనిష్పత్తి a:b:c. దీనిని $a \neq b \neq c$ అని కూడా రాస్తారు. అక్షకోణాలు $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^0$. సౌష్ఠవ విభాగాలలో 2 విభాగాలు ఈ వ్యవస్థ కిందికి వస్తాయి. ఈ వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలలో సౌష్ఠవాక్షాలు అసలు ఉండవు.

6. షట్కోణ వ్యవస్థ (hexagonal system)

పైన వర్ణించిన 5 స్ఫటిక వ్యవస్థలలో మాదిరిగా కాక దీనిలో నాలుగు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు ఉంటాయి. ఈవ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలను క్షితిజ సమాంతర తలంలో ఉండే మూడు సమాన క్షితిజ సమాంతర అక్షాలకు, వీటికి అసమానంగాను, లంబంగాను ఉండే నాలుగవ అక్షానికి, అంటే క్షితిజ లంబాక్షానికి, అనుగుణంగా వర్ణిస్తారు. క్షితిజ సమాంతరాక్షాలు సమానంగా ఉంటాయి కాబట్టి వాటిని పరస్పరం మార్పిడి చేయవచ్చు. వాటిని a_1, a_2, a_3 అక్షాలుగాను, క్షితిజలంబ అక్షాన్ని c- అక్షంగాను సూచిస్తారు. c- అక్షం మిగిలినవాటికన్న పొడవుగా ఉండవచ్చు లేదా పొట్టిగా ఉండవచ్చు. క్షితిజ సమాంతరాక్షాలు ఒక దానినొకటి 120^0 కోణంలో ఖండించుకొంటాయి. ఈ వ్యవస్థ అక్ష నిష్పత్తి $a_1 : a_2 : a_3 : c$ లేదా 1:1:1:c. దీనిని $a_1 = a_2 = a_3 \neq c$ గా కూడా వ్రాయవచ్చు. అక్షకోణాలు $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 90^0$, $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 120^0$. సౌష్ఠవ విభాగాలలో 12 విభాగాలు ఈ వ్యవస్థ కిందికి వస్తాయి.

షట్కోణ వ్యవస్థను సాధారణంగా షట్కోణ భాగం (hexagonal division), త్రికోణ భాగం (trigonal division) అనే రెండు భాగాలుగా విభజిస్తారు. కొందరు స్ఫటిక శాస్త్రజ్ఞులు ఈ రెండు భాగాలను రెండు వేరువేరు స్ఫటిక వ్యవస్థలుగా పరిగణించి స్ఫటిక వ్యవస్థలు మొత్తం ఏడుగాను, ఈ రెండు వ్యవస్థలను షట్కోణ వ్యవస్థ, త్రికోణ వ్యవస్థలుగాను వర్ణిస్తారు. షట్కోణ వ్యవస్థలో 7 సౌష్ఠవ విభాగాలు ఉంటాయి. ఈ వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలకు ఒక షడావృత్త సౌష్ఠవాక్షం (c- అక్షం) ముఖ్య లక్షణం. త్రికోణ వ్యవస్థలో 5 సౌష్ఠవ విభాగాలు ఉంటాయి. ఈ వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలన్నింటిలో ఒక త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం (c-అక్షం) తప్పకుండా ఉంటుంది.

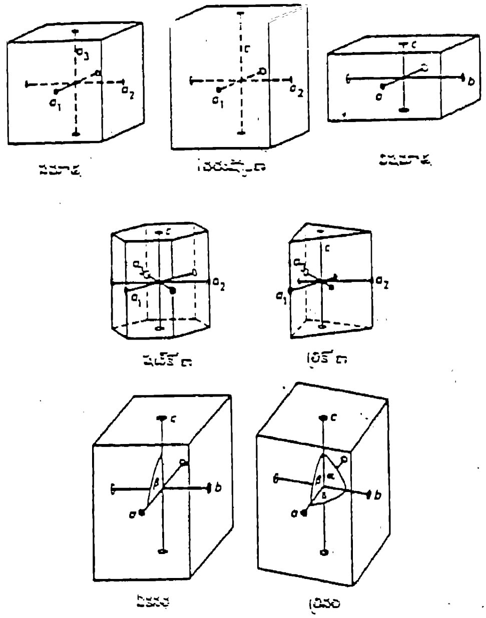
పైన వర్ణించిన స్ఫటిక వ్యవస్థల లక్షణాలను స్థూలంగా పట్టిక 5.1లో ఇచ్చినాము. ఈ వ్యవస్థల స్ఫటిక రేఖీయాక్షాల ప్రవృత్తులను (attitudes) పటం 5.1 లో చూడవచ్చు.

స్ఫటిక వ్యవస్థలను గురించి పైన ఇచ్చిన వివరణలో సులభంగా అర్థంఅయ్యేందుకు మొదట మూడు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలున్న వ్యవస్థలను, తరవాత నాలుగు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలున్న వ్యవస్థలను ఆక్రమంలో ఇచ్చాము. స్ఫటిక వ్యవస్థలను, వాటిలోని సౌష్ఠవ విభాగాలను వర్ణించే క్రమంలో వివిధ స్ఫటిక శాస్త్ర గ్రంథాలలో కొద్దోగొప్పో తేడాలు కనిపిస్తాయి. అయితే ఎక్కువ గ్రంథాలలో షట్ కోణ వ్యవస్థను చతుష్కోణ వ్యవస్థ తరవాత విషమాక్ష వ్యవస్థకు ముందు వర్ణిస్తారు. చతుష్కోణ వ్యవస్థ అక్ష ,సౌష్ఠవ మూలకాలకు, షట్కోణ వ్యవస్థ అక్ష , సౌష్ఠవ మూలకాలకుమధ్య, చతుష్కోణ వ్యవస్థలోని రూపాలకు, వాటి చిహ్నాలకు, షట్కోణ వ్యవస్థలోని రూపాలకు, వాటి చిహ్నాలకు మధ్య ఉన్న కొంత సారూప్యత కారణంగా ఈ వరసక్రమాన్ని అనుసరిస్తారు. ఈ అంశాన్ని దృష్టిలో పెట్టుకొని ఇకముందు రాబోయే పాఠ్యభాగంలో షట్కోణ వ్యవస్థ వివరాలను చివరలోకాక, చతుష్కోణ వ్యవస్థ తరవాత ఇచ్చాం.

పట్టిక 5.1

స్ఫటిక వ్యవస్థల లక్షణాలు

స్ఫటిక వ్యవస్థ	అక్షనిష్పత్తి లేదా అక్షసంబంధం	అక్షకోణాలు	సౌష్ఠవ విభాగాల సంఖ్య	స్ఫటికాలలో ఉండే ఉమ్మడి సౌష్ఠవ మూలకం
మూడు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు గల వ్యవస్థలు				
సమాక్షవ్యవస్థ	$a=b=c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^0$	5	నాలుగు త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు
చతుష్కోణవ్యవస్థ	$a=b\neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^0$	7	ఒక చతురావృత్త సౌష్ఠవాక్షం
విషమాక్షవ్యవస్థ	$a\neq b\neq c$	$\alpha=\beta=\gamma=90^0$	3	మూడు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు
ఏకనత వ్యవస్థ	$a\neq b\neq c$	$\alpha=\gamma=90^0, \beta>90^0$	3	ఒక ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం
త్రినత వ్యవస్థ	$a\neq b\neq c$	$\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq 90^0$	2	సౌష్ఠవాక్షాలు ఉండవు
నాలుగు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు గల వ్యవస్థలు				
షట్కోణ వ్యవస్థ				
-షట్కోణ భాగం లేదా షట్కోణ వ్యవస్థ	$a_1=a_2=a_3\neq c$	$\beta_1=\beta_2=\beta_3=90^0$ $\gamma_1=\gamma_2=\gamma_3=120^0$	7	ఒక షడావృత్తసౌష్ఠవాక్షం
-త్రికోణ భాగం లేదా త్రికోణవ్యవస్థ	$a_1=a_2=a_3\neq c$	$\beta_1=\beta_2=\beta_3=90^0$ $\gamma_1=\gamma_2=\gamma_3=120^0$	5	ఒక త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం



పటం 5.1 వివిధ స్ఫటిక వ్యవస్థలలో స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు

సౌష్ఠవ విభాగాల నామీకరణ

ఒక స్ఫటిక వ్యవస్థలో ఉన్న సౌష్ఠవ విభాగాలలో అత్యధిక సౌష్ఠవాన్ని చూపే విభాగాన్ని ఆ వ్యవస్థయొక్క పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగం (holosymmetric class) లేద నార్మల్ విభాగం (normal class) అంటారు. అంటే సమాక్ష వ్యవస్థలో ఒక పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగం లేదా నార్మల్ విభాగం, చతుష్కోణ వ్యవస్థలో ఒక పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగం లేదా నార్మల్ విభాగం, ఆ విధంగా మిగిలిన అన్ని వ్యవస్థలలోను ఒక్కొక్క పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగం లేదా నార్మల్ విభాగం ఉంటుందన్నమాట. ప్రతి స్ఫటిక రూపంలోని ముఖాల సంఖ్య దాని సౌష్ఠవ మూలకాలస్థాయిపై ఆధారపడి ఉంటుంది కాబట్టి ఒక స్ఫటిక వ్యవస్థలో సౌష్ఠవం రీత్యా అత్యధిక ముఖాలుండటానికి వీలున్న రూపం ఈ పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగంలోనే ఉంటుంది. ఇటువంటి రూపాన్ని పూర్ణాంశకరూపం (holohedral form) అనీ, ఈ సౌష్ఠవ విభాగాన్ని, అంటే పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగాన్ని పూర్ణాంశక విభాగం (holohedral class) అని కూడా అంటారు.

ప్రతి విభాగంలోని రూపాలను విశిష్ట రూపాలు (special forms), సాధారణ రూపాలు (general forms) అనే రెండు రకాల రూపాలుగా వేరుచేయవచ్చు. ఒక స్ఫటిక వ్యవస్థలోని ఏదైనా ఒక విభాగానికి చెందిన రూపం ముఖాలు అదే స్ఫటిక వ్యవస్థలోని పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగం చూపే సౌష్ఠవాక్ష, సౌష్ఠవ సమతలాలలో కనీసం ఒక దానికైనా సమాంతరంగా లేదా లంబంగా ఉంటే ఆ రూపాన్ని విశిష్టరూపం అంటారు. ముఖాలకు సౌష్ఠవాక్ష, సౌష్ఠవ సమాతలాలలకు అటువంటి సంబంధంలేని రూపాన్ని సాధారణ రూపం అంటారు. దీని ముఖాలు సాధారణంగా స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను మూడింటిని వేరువేరు దూరాలలో ఖండిస్తాయి. అందువల్ల ఆరూపం చిహ్నం (hkl) అవుతుంది. దీనిలోని ముఖాల సంఖ్య అత్యధికంగా ఉండటమేకాక, ముఖాల అంతర్ ఖండనాల మధ్య సంబంధాలలో మార్పులు చేయడం వల్ల మిగిలిన రూపాలను అంటే

విశిష్టరూపాలను ఉత్పాదన చేయవచ్చు. ప్రతి సౌష్ఠవ విభాగంలోను ఉండే సాధారణ రూపం ఆ విభాగంలో తప్ప ఇక ఏ ఇతర సౌష్ఠవ విభాగంలోను ఉండదు. అందువల్ల స్ఫటిక శాస్త్రజ్ఞులు సౌష్ఠవ విభాగాలకు వాటి వాటి సాధారణ రూపాల ఆధారంగా కూడా నామీకరణ చేస్తారు. అంతేకాకుండా ఆయా సౌష్ఠవ విభాగాల లక్షణాలను చూపే రూపాలలో స్ఫటికీకరణ చెందే ఖనిజం లేదా సింథటిక్ సమ్మేళనం ఆధారంగా కూడా సౌష్ఠవ విభాగాలకు పేర్లు పెట్టడం జరిగింది.

వివిధ స్ఫటిక వ్యవస్థలలోని సౌష్ఠవ విభాగాలను, సంక్షిప్తరూపంలో వాటి సౌష్ఠవ మూలకాలను పట్టిక 5.2లో ఇచ్చాం.

పట్టిక 5.2

సౌష్ఠవ విభాగాలు, వాటి సౌష్ఠవ మూలకాలు

స్ఫటిక వ్యవస్థ	సౌష్ఠవ విభాగం	సౌష్ఠవ మూలకాలు
సమాక్షవ్యవస్థ	1. షట్-అష్ట పార్శ్వక విభాగం	3 Ax.P.,6 Diag.P.
	(Hexoctahedral class)	3 Xl. Ax^{IV}, 4 Diag. $Ax.^{III}$
	లేదా గెలీనా రీతి	6 Diag.$Ax.^{II}$
	-నార్మల్ విభాగం	C.
	2. ద్వి-ద్వాదశపార్శ్వక విభాగం	3 Ax.P.
	(Didodecahedral class)	3 Xl.$Ax.^{II}$, 4 Diag. Ax^{III}
	లేదా పైరైట్ రీతి	C.
	3. షట్-చతుఃపార్శ్వక విభాగం	6 Diag.P.
	(Hexatetrahedral class)	3 Xl.$Ax.^{II}$, 4 Diag. $Ax.^{III}$
	లేదా టెట్రాహెడ్రైట్‌రీతి	
	4. త్రి-అష్ట పంచభుజపార్శ్వక విభాగం	3 Xl.$Ax.^{IV}$, 4 Diag. $Ax.^{III}$
	(Pentagonal trisoctahedral class)	6 Diag. $Ax.^{II}$
	లేదా క్యుప్రైట్ రీతి	
	5. త్రి-చతుఃపంచభుజపార్శ్వక విభాగం	3 Xl.$Ax.^{II}$
	(Pentagonal tristetrahedral class)	4 Diag. $Ax.^{III}$
	లేదా ఉల్మనైట్ రీతి	
చతుష్కోణ వ్యవస్థ	1. ద్విచతుష్కోణ ద్విసూచి విభాగం	3 Ax.P., 2 Vert. Diag. P.
	(Ditetragonal bipyramidal class)	Vert. Xl.$Ax.^{IV}$
	లేదా జిర్కాన్ రీతి	2 Hor.Xl.$Ax.^{II}$
	-నార్మల్ విభాగం	2 Hor. Diag. $Ax.^{II}$
		C.
	2. చతుష్కోణ ద్విసూచి విభాగం	Hor.Ax.P.
	(Tetragonal bipyramidal class)	Vert. Xl.$Ax.^{IV}$
	లేదా షీలైట్ రీతి	C.
	3. ద్విచతుష్కోణ సూచి విభాగం	2 Vert. Ax.P.
	(Ditetragonal pyramidal class)	2 Vert. Diag.P.
	లేదా అయొడొసక్సినిమైడ్ రీతి	Vert. Xl.$Ax.^{IV}$

	4. చతుష్కోణ విషమ చతుర్భుజ పార్శ్వక విభాగం (Tetragonal trapezohedral class) లేదా నికెల్ సల్ఫేట్ రీతి	Vert. Xl.Ax.^{IV} 2Hor.Xl.Ax.^{II} 2Hor. Diag. Ax.^{II}
	5. చతుష్కోణ విషమ త్రిభుజపార్శ్వక విభాగం (Tetragonal scalenohedral class) లేదా చాల్కోపైరైట్ రీతి	2 Vert. Diag.P. 3 Xl.Ax.^{II}
	6. చతుష్కోణ సూచి విభాగం (Tetragonal pyramidal class) లేదా ఉల్ఫనైట్ రీతి	Vert. xl.Ax.^{IV}
	7. చతుష్కోణ స్ఫెనాయిడ్ విభాగం (Tetragonal sphenoidal class) లేదా సింథటిక్ $2CaO.Al_2O_3$., SiO_2 రీతి	Vert. Xl.Ax.^{II}
షట్కోణ వ్యవస్థ -షట్కోణ భాగం	1. ద్విషట్కోణ ద్విసూచి విభాగం (Dihexagonal bipyramidal class) లేదా బెరిల్ రీతి - నార్మల్ విభాగం	4 Ax.p.,3Vert. Diag.P. Vert. Xl Ax.^{VI} 3 Hor.Xl.Ax.^{II} 3 Hor.Diag.Ax.^{II} C.
	2. షట్కోణ ద్విసూచి విభాగం (Hexagonal bipyramidal class) లేదా ఎపటైట్ రీతి	Hor.Ax.P. Vert. Xl.Ax^{VI} C.
	3. ద్వి-షట్కోణ సూచి విభాగం (Dihexagonal pyramidal class) లేదా జింకైట్ రీతి	3 Vert. Ax.P. 3 Vert. Diag P. Vert. Xl.Ax.^{VI}
	4. షట్కోణ విషమచతుర్భుజ పార్శ్వక విభాగం (Hexagonal trapezohedral class) లేదా బీటా-క్వార్ట్జ్‌రీతి	Vert. Xl.Ax.^{VI} 3 Hor.Xl.Ax.^{II} 3 Hor.Diag.Ax.^{II}
	*5. ద్వి-త్రికోణ ద్విసూచి విభాగం (Ditrigonal bipyramidal class) లేదా బెనిటోయిట్‌రీతి	Hor.Ax.P. 3 Vert.Diag. P. Vert.Xl.Ax.^{III} 3 Hor.Diag.Ax.^{II}
	6. షట్కోణ సూచి విభాగం (Hexagonal pyramidal class) లేదా నెఫిలీన్ రీతి	Vert.Xl.Ax.^{VI}
	*7. త్రికోణ ద్విసూచి విభాగం (Trigonal bipyramidal class) లేదా డైసిల్వర్ ఆర్థోఫాస్ఫేట్ రీతి	Hor.Ax.P. Vert.Xl.Ax.^{III}

-త్రికోణభాగం	8. ద్విత్రికోణ విషమత్రిభుజపార్శ్వక విభాగం (Ditrigonal scalenohedral class)లేదా కేల్సైట్ రీతి	3 Vert.Diag.P. Vert.Xl.Ax.^{III} 3 Hor.Xl.Ax.^{II} C.
	9. త్రికోణ సమచతుర్భుజ పార్శ్వక విభాగం (Trigonal rhombohedral class) లేదా ఫెనసైట్ రీతి	Vert.Xl.Ax.^{III} C.
	10. ద్వి-త్రికోణ సూచి విభాగం (Ditrigonal pyramidal class) లేదా టూర్మలీన్ రీతి	3 Vert.Diag.P. Vert.Xl.Ax.^{III}
	11. త్రికోణ విషమ చతుర్భుజ పార్శ్వక విభాగం (Trigonal trapezohedral class) లేదా ఆల్ఫా - క్వార్ట్జ్‌రీతి	Vert.Xl.Ax.^{III} 3 Hor.Xl.Ax.^{II}
	12. త్రికోణ సూచి విభాగం (Trigonal pyramidal class) లేదా సోడియమ్ పెర్ అయొడేట్ రీతి	Vert.Xl.Ax.^{III}

*పూర్వం ఈ రెండు విభాగాలను వాటికున్న త్రిరావృత్త సౌష్ఠవ క్షితిజలంబ స్ఫటిక రేఖీయాక్షం (Vert. Xl. Ax.^{III}) కారణంగా త్రికోణ భాగంలో చేర్చేవారు. అయితే నిర్మితి రీత్యా అవి షట్కోణ విభాగాలను పోలి ఉండటం చేత వాటిని ప్రస్తుతం షట్కోణ భాగంలో చేరుస్తున్నారు.

విషమాక్ష వ్యవస్థ	1. ద్వి-ద్వికోణ ద్విసూచి విభాగం (Rhombic bipyramidal class) లేదా బెరైటిస్ రీతి - నార్మల్ విభాగం	3Ax.P. 3 Xl.Ax.^{II} C.
	2. ద్వి-ద్వికోణ సూచి విభాగం (Rhombic pyramidal class) లేదా కేలమీన్ రీతి	2 Vert.Ax.P. Vert.Xl.Ax.^{II}
	3. ద్వి-ద్వికోణ స్ఫీనాయిడ్ విభాగం (Rhombic sphenoidal class) లేదా ఎప్సొమైట్ రీతి	3 Xl.Ax.^{II}
ఏకనత వ్యవస్థ	1. ద్వి-ద్వికోణ పట్టిక విభాగం (Rhombic prismatic class) లేదా జిప్సమ్ రీతి - నార్మల్ విభాగం	b-Xl. Ax.^{II} a-c Ax.P. C.
	2. కలశ విభాగం (Domatic class) లేదా క్లైనో హైడ్రైట్ రీతి	a-c Ax.P.
	3. స్ఫీనాయిడ్ విభాగం (Sphenoidal class) లేదా టార్‌టారిక్ అమ్లరీతి	b. Xl.Ax.^{II}

త్రినత వ్యవస్థ	1. ద్విపార్శ్విక విభాగం (Pinacoidal class) లేదా ఏక్సినైట్ రీతి - నార్మల్ విభాగం	C.
	2. ఏకపార్శ్విక విభాగం (Pedial class) లేదా క్యుప్రిక్ సల్ఫేట్‌రీతి - అసౌష్ఠవ విభాగం	సౌష్ఠవంలేదు

సూచన : పై పట్టికలో

Ax.P.	:	సౌష్ఠవ అక్ష సమతలం
Diag.P.	:	సౌష్ఠవ వికర్ణ సమతలం
Hor.	:	క్షితిజ సమాంతర
Vert.	:	క్షతిజలంబ
Xl.Ax.	:	స్ఫటిక రేఖీయాక్షం
*Xl.Ax.^{IV}	:	చతురావృత్త సౌష్ఠవ స్ఫటిక రేఖీయాక్షం
*Diag. Ax.^{III}	:	త్రిరావృత్త సౌష్ఠవ వికర్ణ అక్షం

* వీటిలో సూచించినట్లు కుడివైపు ఎగువన ఉండే VI,IV,III,II అనే సంఖ్యలు భ్రమణ సౌష్ఠవ స్థాయిని తెలుపుతాయి.

C. : సౌష్ఠవ కేంద్రం

స్ఫటిక వ్యవస్థలు-ఖనిజాల సాపేక్ష విస్తరణ

సహజ స్ఫటికాలు, కృత్రిమ స్ఫటికాలు కలసి ఇప్పటి వరకు తెలిసినంత మేరకు సుమారు 20,000 వరకు ఉండవచ్చునని అంచానా. వీటిలో దాదాపు 2,000 మాత్రమే ప్రకృతిలో ఖనిజాలుగా లభిస్తున్నాయి. వీటిలో కూడా చాలా భాగం అరుదుగానే లభిస్తాయి. ఈ మొత్తం స్ఫటిక పదార్థాలలో సుమారుగా 50 శాతం ఏకనత వ్యవస్థకు, 25 శాతం విషమాక్ష వ్యవస్థకు, 15 శాతం త్రినత వ్యవస్థకకు చెందుతాయి. అంటే ఈ మూడు వ్యవస్థలలో కలిపి 90 శాతం స్ఫాటిక పదార్థాలు పోగా మిగిలిన 10 శాతం మాత్రమే సాపేక్షంగా అధికస్థాయి సౌష్ఠవాన్ని చూపే స్ఫటిక వ్యవస్థలకు చెందుతాయన్నమాట. వీటిలో కూడా సమాక్ష, చతుష్కోణ, షట్కోణ, త్రికోణ వ్యవస్థలలో ఆక్రమంలో స్ఫాటిక పదార్థాల సంఖ్య తగ్గుతూపోతుంది. ప్రతి వ్యవస్థలోను ఆవ్యవస్థలోని స్ఫాటిక పదార్థాలలో ఎక్కువ భాగం పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగానికి చెందుతాయి. నిజానికి కొన్ని సౌష్ఠవ విభాగాలకు స్ఫటిక ఉదాహరణలు దొరకటం చాలా కష్టం.

సరళ రూపాల పేర్లు - వివరణ

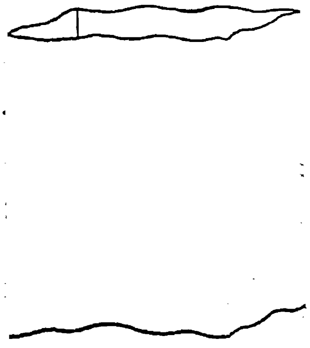
సమాక్ష వ్యవస్థలోని రూపాలన్నీ సంవృత రూపాలే. ఈ రూపాలు ఏ ఇతర వ్యవస్థ లోను లభించవు. సమాక్ష వ్యవస్థలోని నార్మల్ విభాగానికి చెందిన సరళ రూపాలకున్న విశిష్టమైన పేర్లను ఆయా రూపాల వర్ణనలలో వివరించాము. మిగిలిన స్ఫటిక వ్యవస్థలలోని సరళ రూపాలలో కొన్ని వివృత రూపాలు, కొన్ని సంవృత రూపాలు. రూపాలు వేరువేరు స్ఫటిక వ్యవస్థలకు చెందినప్పటికీ

అవి చూపే జ్యామితీయ సారూప్యత కారణంగాను, ముఖాలకు స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలకు మధ్య ఉండే సంబంధాలలోని సారూప్యత కారణంగాను స్ఫటిక శాస్త్రజ్ఞులు ఆయా రూపాలకు కొన్ని ఉమ్మడిపేర్లను (common names) ప్రతిపాదించారు. సమాక్ష వ్యవస్థ మినహా, ఇతర స్ఫటిక వ్యవస్థలలోని నార్మల్ విభాగాలకు చెందిన సరళ రూపాలకు వాడే ఉమ్మడిపేర్లను ప్రస్తుత పాఠ్యాంశాలకు అవసరమైనంత మేరకు కింద వివరించాము.

ద్విపార్శ్వక (pinacoid) : ఇది రెండు సమాంతర ముఖాలుగల ఒక వివృతరూపం (పటం 5.2)

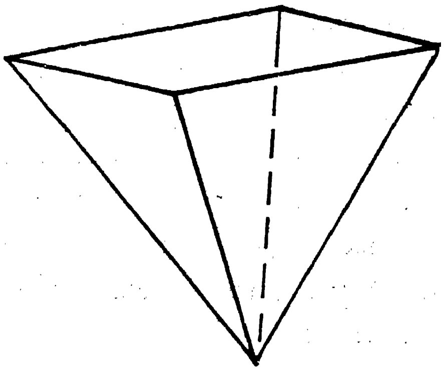
పటం 5.2 ద్విపార్శ్వక

పట్టకం (prism) : రెండుకన్న ఎక్కువ ముఖాలు ఒకే మండలంలో ఉన్న ఒక వివృత రూపం (పటం 5.3) అంటే దీనిలోని ముఖాలన్నీ ఒక అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటాయి. ఈ అక్షం స్ఫటిక రేఖీయాక్షం కానక్కరలేదు. పట్టకంలోని ముఖాల సంఖ్య, పట్టకాక్ష సౌష్ఠవం మధ్యఛేదం ఆకారాన్ని బట్టి త్రికోణ పట్టకం (trigonal prism), చతుష్కోణపట్టకం (tetragonal prism), షట్కోణ పట్టకం (hexagonal prism), ద్విత్రికోణ పట్టకం (ditrigonal prism) ద్విచతుష్కోణ పట్టకం (ditetragonal prism), ద్విషట్కోణ పట్టకం (dihexagonal prism) మొదలైన రకాల పట్టకాలను గుర్తించవచ్చు. ద్వి-ద్వికోణ పట్టకం (rhombic prism) మధ్య ఛేదం సమచతుర్భుజాకారం (rhombus)లో ఉంటుంది.

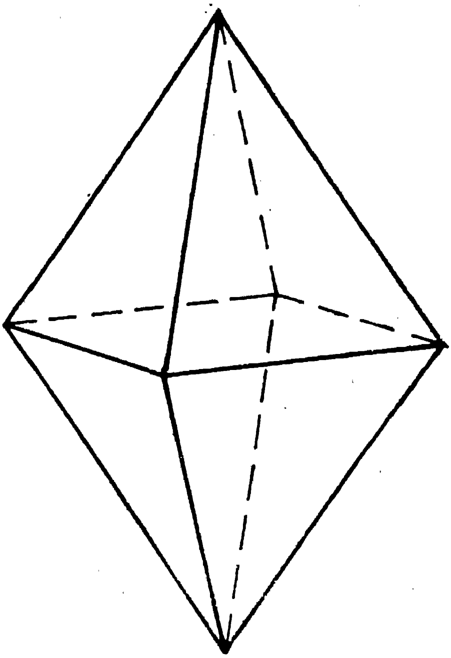


పటం 5.3 పట్టకం

సూచి (pyramid), ద్విసూచి (bipyramid) : రెండు కన్న ఎక్కువ ముఖాలు ఒక దానిని మరొకటి ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే అంచులు ఒక మూలవద్ద ఖండిచుకొనే ఒక వివృత రూపం సూచి (పటం 5.4). రెండు సర్వ సమ సూచులను ఒక సమతలం వద్ద కలిపితే, అంటే ఒక దానికొకటి దర్పణ ప్రతిబింబాలుగా ఉండేటట్లు కలిపితే ఏర్పడే రూపాన్ని ద్విసూచి అంటారు (పటం 5.5). సూచి లేదా ద్విసూచిలోని ముఖాల సంఖ్య, సూచి అక్షం సౌష్ఠవం, మధ్య ఛేదం ఆకారాన్ని బట్టి పట్టకాలలో మాదిరిగా త్రికోణ, ద్విత్రికోణ, చతుష్కోణ, ద్విచతుష్కోణ, షట్కోణ, ద్విషట్కోణ, ద్విద్వికోణ సూచులను, ద్వి సూచులను గుర్తించవచ్చు.



పటం 5.4 సూచి



పటం 5.5 ద్విసూచి

రూపాల క్రమాలు

సమాక్షవ్యవస్థ మినహా ఇతర వ్యవస్థలలోని పట్టకాలను, మరికొన్ని ఇతర రూపాలను ఒక దాని నుంచి మరొక దానిని విచక్షణ చేయడానికి వీటిని మొదటి (first), రెండో (second), మూడో (third), నాలుగో క్రమాల (fourth order) రూపాలుగా వర్ణిస్తారు. ఉదాహరణకు చతుష్కోణ పట్టకంలోని ముఖాలు a_1, a_2 స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను ప్రమాణ దూరంలో ఖండిస్తే ఆ రూపాన్ని మొదటి క్రమం రూపమని, a_1, a_2 లలో ఒక స్ఫటిక రేఖీయాక్షాన్ని మాత్రమే ఖండిస్తే దానిని రెండో క్రమం రూపం అని, ముఖాలు a_1, a_2 అక్షాలను వేరు వేరు ప్రమాణాల దూరాలలో ఖండిస్తే దానిని మూడో క్రమం రూపమని అంటారు. అదే విధంగా ద్వి-ద్వికోణ పట్టకంలోని ముఖాలు b,c- అక్షాలను ఖండించి a- అక్షనికి సమాంతరంగా ఉంటే దానిని మొదటి క్రమం రూపమని, a,c- అక్షాలను ఖండించి b- అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటే దానిని రెండో క్రమం రూపమని a,b- అక్షాలను ఖండించి c- అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటే దానిని మూడో క్రమం రూపమని, a,b,c- అక్షాలను ఖండిస్తే నాలుగో క్రమం రూపమని అంటారు. ద్వి-పార్శ్వక లోని ముఖాలు b,c- అక్షాలను ఖండించి a- అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటే ఆ రూపాన్ని మొదటి క్రమం ద్విపార్శ్వక అని a,c- అక్షాలను ఖండించి b- అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటే ఆ రూపాన్ని రెండో క్రమం ద్విపార్శ్వక అని, a,b- అక్షాలను ఖండించి c-అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటే ఆరూపాన్ని మూడో క్రమం ద్విపార్శ్వక అని, a,b,c అక్షాలను మూడింటిని ఖండిస్తే ఆ రూపాన్ని నాలుగో క్రమం ద్విపార్శ్వక అనీ అంటారు.

స్ఫటిక రూపాల వర్ణన

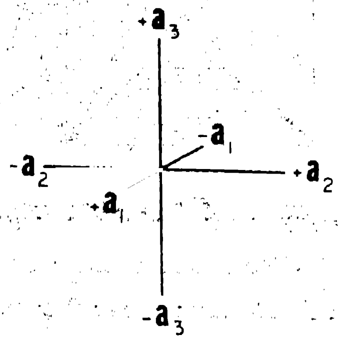
(Description of Crystal Forms)

ఈ అధ్యాయంలో వివిధ స్ఫటిక వ్యవస్థలలోని పూర్ణ సౌష్ఠవ లేదా పూర్ణాంశక లేదా నార్మల్ ాగాలకు చెందిన స్ఫటికాల సరళ రూపాల లక్షణాలను వర్ణించాం. ఆయా రూపాలలో టికీకరణ చెందే ముఖ్యమైన ఖనిజాల ఉదాహరణలు కూడా ఇచ్చాం.

సమాక్ష వ్యవస్థ - నార్మల్ విభాగం

ుటికరేఖీయాక్షాలు

సమాక్ష వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలలో ఒకే పొడవుగల మూడు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు- ,a_2,a_3 ఒక దానికొకటి లంబంగా ఉంటాయి. మూడు అక్షాలు సమానంగా ఉంటాయి కాబట్టి ిటిని పరస్పరం మార్పిడి చేయవచ్చు. స్ఫటికాన్ని సరిగా స్థాన నిర్దేశం (orientation) చేసినప్పుడు $_3$ అక్షం క్షితిజలంబంగాను, a_1 అక్షం ముందు నుంచి వెనుకకు, a_2 అక్షం పరిశీలకుని కుడి ుంచి ఎడమకు అమరి ఉంటాయి. ధనసంజ్ఞను చూపే కొనలు a_1 అక్షానికి ముందువైపున ంటే పరిశీలకుని వైపున, a_2 అక్షానికి పరిశీలకుని కుడివైపున, a_3 అక్షానికి పై వైపున ఉంటాయి. ఈ వ్యవస్థ అక్షకూటమిని పటం 6.1లో చూడవచ్చు. దీని అక్షమూలకాలను a=b=c లేదా $_1=a_2=a_3$, $\alpha=\beta=\gamma=90^0$ అని రాయవచ్చు.

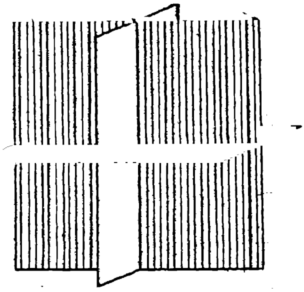


పటం 6.1 సమాక్ష వ్యవస్థ అక్షకూటమి

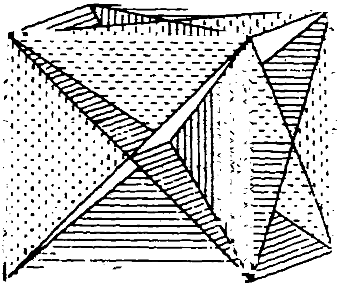
సౌష్ఠవమూలకాలు

ఈ వ్యవస్థలోని పూర్ణసౌష్ఠవ లేదా నార్మల్ విభాగాన్ని షట్-అష్ట పార్శ్వక విభాగం (hexoctahedral class) లేదా గెలీనా రీతి (Galena type) అంటారు. ఈ విభాగంలోని సౌష్ఠవమూలకాలను అతి సాధారణమైన, అందరికీ తెలిసిన స్ఫటిక రూపం షట్ పార్శ్వక - సహాయంతో సులభంగా అర్థంచేసుకోవచ్చు. షట్ పార్శ్వకలోని a_1,a_2 అక్షాలను కలిగి ఉండే

క్షితిజ సమాంతర అక్షసమతలం, a_1, a_3 అక్షాలను, a_2,a_3 అక్షాలను కలిగి ఉండే రెండు క్షితిజలంబ అక్షసమతలాలు మొత్తం మూడు అక్షసమతలాలు సౌష్ఠవ సమతలాలే (పటం. 6.2). ఇవి కాక షట్ పార్శ్వికను పైనుంచి కిందకు, ముందు నుంచి వెనుకకు, కుడి నుంచి ఎడమకు ఐమూలగా ఖండించే మూడు జతల వికర్ణ సమతలాలు కూడా సౌష్ఠవ సమతలాలే (పటం 6.3). ఈ విధంగా షట్ పార్శ్వికలో మొత్తం తొమ్మిది సౌష్ఠవ సమతలాలు ఉంటాయి.



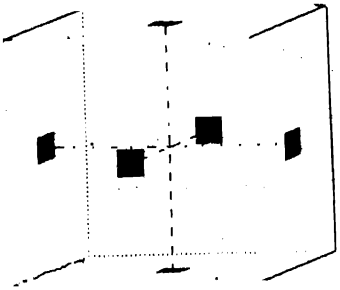
పటం 6.2 సమాక్ష వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవ అక్ష సమతలాలు



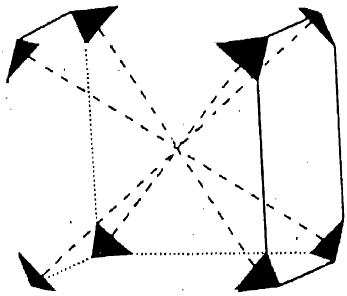
పటం 6.3 సమాక్షవ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవ వికర్ణ సమతలాలు

షట్ పార్శ్వికను రెండు ఎదురెదురు ముఖాల మధ్య బిందువుల దగ్గర పట్టుకొని భ్రమణం చేసినప్పుడు ఒక పూర్తి భ్రమణంలో ఒక ముఖం నాలుగు సార్లు సర్వసమస్థానాలను ఆక్రమిస్తుంది. అంటే ఎదురెదురు ముఖాల మధ్య బిందువులను కలిపే రేఖ ఒక చతురావృత్త సౌష్ఠవాక్షం అవుతుంది. ఆ విధంగా షట్ పార్శ్వికలో ఎదురెదురుగా ఉండే మొత్తం మూడు జతల ముఖాల మధ్య బిందువులను కలిపే మూడు అక్షాలు చతురావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలే. ఈ మూడూ స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలతో ఏకీభవిస్తాయి (పటం 6.4). షట్ పార్శ్వికను ఎదురెదురు మూలల దగ్గర పట్టుకొని భ్రమణం చేస్తే ఒక పూర్తి భ్రమణంలో ఒక ముఖం మూడు సార్లు సర్వసమస్థానాలను ఆక్రమిస్తుంది. అంటే ఎదురెదురు మూలలను కలిపే రేఖ త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం అవుతుంది. ఆవిధంగా నాలుగు జతల ఎదురెదురు మూలలను కలిపే నాలుగు అక్షాలు త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు (పటం 6.5). తరవాత షట్ పార్శ్వికలోని ఎదురెదురు సమాంతర అంచుల మధ్య బిందువుల

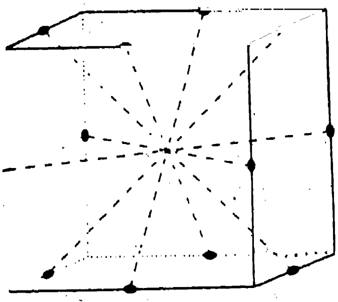
దగ్గర పట్టుకొని భ్రమణం చేస్తే ఒక ముఖం ఒక పూర్తి భ్రమణంలో రెండుసార్లు సర్వసమస్థానాలను ఆక్రమిస్తుంది. అంటే ఎదురెదురు అంచుల మధ్య బిందువులను కలిపే రేఖ ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం అవుతుంది. ఆ విధంగా ఆరు జతల ఎదురెదురు అంచులను కలిపే ఆరు అక్షాలు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు (పటం 6.6). ఈ చివరి రెండు రకాల- త్రిరావృత్త, ద్విరావృత్త-సౌష్ఠవాక్షాలు వికర్ణ అక్షాలు. ఈ విధంగా షట్ పార్శ్వికలో మూడు చతురావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు, నాలుగు త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు, ఆరు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు, మొత్తం పదమూడు సౌష్ఠవాక్షాలు ఉంటాయి.



పటం 6.4 షట్పార్శ్వికలోని చతురావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు



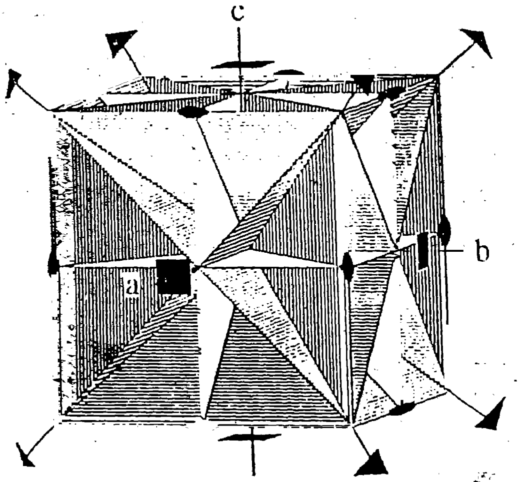
పటం 6.5 షట్పార్శ్వికలోని త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు



పటం 6.6 షట్పార్శ్వికలోని ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు

పైన చెప్పిన సౌష్ఠవ అక్షసమతలాలు చతురావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలకు, సౌష్ఠవ వికర్ణ సమతలాలు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలకు లంబంగా ఉంటాయి. సౌష్ఠవ సమతలాలను, సౌష్ఠవాక్షాలను అన్నింటినీ, వాటి మధ్య సంబంధాలను పటం 6.7లో చూడవచ్చు.

షట్పార్శ్వికలోని సదృశ ముఖాలు, అంచులు, మూలలు దాని కేంద్రబిందువుకు రెండువైపులా జతలుగా వ్యాసరేఖీయంగా అమరి ఉంటాయి కాబట్టి షట్పార్శ్వికలో సౌష్ఠవ కేంద్రం ఉంటుంది.



పటం 6.7 షట్ పార్శ్వికలోని సౌష్ఠవ సమతలాలకు, సౌష్ఠవాక్షాలకు మధ్య సంబంధం

షట్‌పార్శ్వికి చూపే సౌష్ఠవ మూలకాలను అంటే గెలీనా రీతి సౌష్ఠవాన్ని కింద చూపిన విధంగా క్లుప్తంగా రాయవచ్చు.

3 సౌష్ఠవ అక్ష సమతలాలు (3Ax.P.) } మొత్తం 9 సౌష్ఠవ సమతలాలు
6 సౌష్ఠవ వికర్ణ సమతలాలు (6 Diag.P.)

3 చతురావృత్త సౌష్ఠవ స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు (3xl.Ax.^{IV}) } మొత్తం 13 సౌష్ఠవాక్షాలు
4 త్రిరావృత్త సౌష్ఠవ వికర్ణాక్షాలు (4 Diag.Ax.^{III})
6 ద్విరావృత్త సౌష్ఠవ వికర్ణాక్షాలు (6 Diag. Ax.^{II})

సౌష్ఠవ కేంద్రం (C)

సరళ రూపాలు

సమాక్ష వ్యవస్థలోని నార్మల్ విభాగం అయిన గెలీనారీతిలో ప్రధానంగా ఏడు రకాల సరళ రూపాలు ఉంటాయి. ఇవన్నీ సంవృత రూపాలు, పూర్ణాంశక రూపాలు. వీటిని కింద వర్ణించాం.

షట్‌పార్శ్వికి (cube) : దీనిలో 6 చతురస్రాకర ముఖాలు, 12 అంచులు, 8 మూలలు ఉంటాయి. మూడేసి అంచులు పరస్పరం ఖండించుకోనడం వల్ల మూలలు ఏర్పడతాయి (పటం 6.8). ప్రతి ముఖం ఒక స్ఫటిక రేఖీయాక్షాన్ని ఖండిస్తూ మిగిలిన రెండింటికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. అందువల్ల ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (100) అవుతుంది. ఈ రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$100,\ \bar{1}00,\ 010,\ 0\bar{1}0,\ 001,\ 00\bar{1},$$

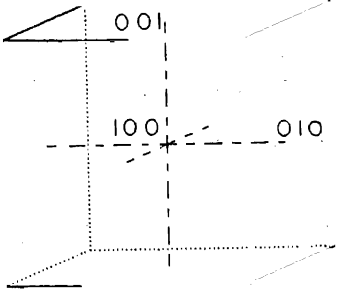
ద్వాదశపార్శ్వికి (Dodecahedron) : దీనిలో 12 సమచతుర్భుజాకార (rhomb-shaped) ముఖాలు, 24 అంచులు, 14 మూలలు ఉంటాయి (పటం 6.9). నాలుగేసి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 6 మూలలు ఒకగణానికి, మూడేసి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 8 మూలలు మరొకగణానికి చెందుతాయి. ప్రతిముఖం రెండు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను

సమానదూరాలలో ఖండించి, మూడో అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. అందువల్ల ఈ రూపం చిహ్నం (110) అవుతుంది. ఈరూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

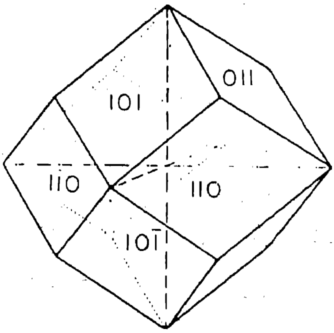
$$1\,1\,0,\quad \bar{1}\,1\,0,\quad \bar{1}\,\bar{1}\,0,\quad 1\,\bar{1}\,0$$

$$1\,0\,1,\quad \bar{1}\,0\,1,\quad \bar{1}\,0\,\bar{1},\quad 1\,0\,\bar{1}$$

$$0\,1\,1,\quad 0\,\bar{1}\,1,\quad 0\,\bar{1}\,\bar{1},\quad 0\,1\,\bar{1}$$



పటం 6.8 షట్పార్శ్వక

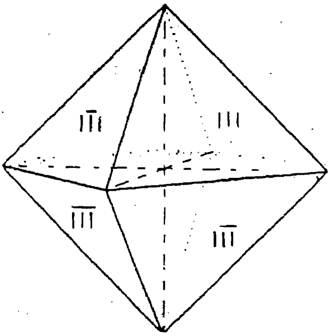


పటం 6.9 ద్వాదశ పార్శ్వక

అష్టపార్శ్వక (Octahedron) : ఈ రూపంలో 8 సమబాహుత్రిభుజాకార (equilateral triangular) ముఖాలు, 12 అంచులు, 6 మూలలు ఉంటాయి (పటం 6.10). నాలుగేసి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల మూలలు ఏర్పడతాయి. ప్రతి ముఖం మూడు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను సమాన దూరాలలో ఖండిస్తుంది. అందువల్ల ఈ రూపం చిహ్నం (111) అవుతుంది. ఇది గెలీనా రీతి ప్రమాణ రూపం (unit form). ఈ రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$1\,1\,1,\quad \bar{1}\,1\,1,\quad \bar{1}\,\bar{1}\,1,\quad 1\,\bar{1}\,1$$

$$1\,1\,\bar{1},\quad \bar{1}\,1\,\bar{1},\quad \bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1},\quad 1\,\bar{1}\,\bar{1}$$



పటం 6.10 అష్ట పార్శ్వక

చతుష్షట్ పార్శ్వక (Tetrahexahedron) : ఈ రూపంలో 24 సమద్విబాహు త్రిభుజాకా (isosceles triangular) ముఖాలు, 36 అంచులు, 14 మూలలు ఉంటాయి (పటం 6.11) అంచులలో 12 పొడుగు అంచులు ఒక గణానికి, 24 పొట్టి అంచులు మరొక గణానికి చెందుతాయి నాలుగేసి పొట్టి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 6 మూలలు ఒక గణానికి, మూడేసి పొడుగు అంచులు, మూడేసి పొట్టి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 8 మూలలు మరొ గణానికి చెందుతాయి. షట్ పార్శ్వకలోని ప్రతి ముఖం స్థానంలో ఈ రూపం ముఖాలు నాలు ఒక సూచి (pyramid) వలె అమరి ఉంటాయి. అందువల్లనే దీనికి చతుష్షట్ పార్శ్వక అనే పేర వచ్చింది. ప్రతి ముఖం రెండు స్పటిక రేఖీయాక్షాలను వేరువేరు దూరాలలో ఖండించి మూడ అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. అందువల్ల ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (hko) అవుతుం h,k ల విలువలు మారేకొద్దీ, అంటే ముఖం అక్షాలపై చేసే అంతర్ ఖండనాల విలువలు మారేకొ వేరువేరు చతుష్షట్ పార్శ్వకలు రూపొందుతాయి. ఉదాహరణకు రూపంలోని ముఖాలు ఒ అక్షాన్ని రెండు ప్రమాణ దూరాలలోను, మరొక అక్షాన్ని ఒక ప్రమాణ దూరంలోను ఖండిస్తే ఆ రూపం చిహ్నం (210) అవుతుంది. అదే విధంగా (320), (310), (410) మొదలైన చిహ్నాలు గల చతుష్షట్ పార్శ్వకలు ఎన్నైనా ఉండవచ్చు. (210) రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

210, 120, $\bar{1}20$, $\bar{2}10$

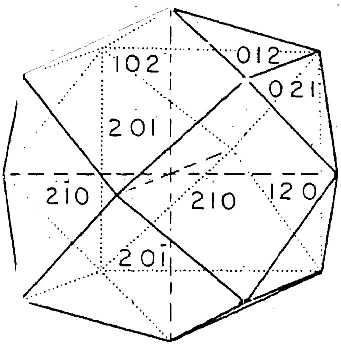
$\bar{2}\bar{1}0$, $\bar{1}\bar{2}0$, $1\bar{2}0$, $2\bar{1}0$

201, $20\bar{1}$, 102, $10\bar{2}$

021, $02\bar{1}$, 012, $01\bar{2}$

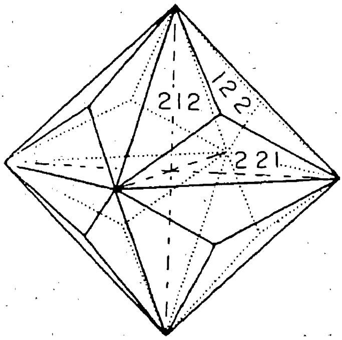
$\bar{2}01$, $20\bar{1}$, $\bar{1}02$, $\bar{1}0\bar{2}$

$0\bar{2}1$, $0\bar{2}\bar{1}$, $0\bar{1}2$, $0\bar{1}\bar{2}$



పటం 6.11 చతుష్షట్పార్శ్వక

త్రి- అష్ట త్రిభుజపార్శ్వక **(Trisoctahedron)** : దీనిలో 24 సమద్విబాహుత్రిభుజాకార ముఖాలు, 36 అంచులు, 14 మూలలు ఉంటాయి (పటం 6.12). అంచులలో 12 పొడుగు అంచులు ఒక గణానికి, 24 పొట్టి అంచులు మరొక గణానికి చెందుతాయి. నాలుగేసి పొడుగు అంచులు, నాలుగేసి పొట్టి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 6 మూలలు ఒక గణానికి, మూడేసి పొట్టి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 8 మూలలు మరొక గణానికి చెందుతాయి.



పటం 6.12 త్రి- అష్టత్రిభుజపార్శ్వక

అష్టపార్శ్వకలోని ప్రతి ముఖం స్థానంలో ఈ రూపం ముఖాలు మూడు ఒక సూచివలె అమరి ఉంటాయి కాబట్టి, దీని ముఖాలు త్రిభుజాకారంలో ఉంటాయి కాబట్టి దీనికి త్రి- అష్ట త్రిభుజపార్శ్వక అనే పేరు వచ్చింది. ప్రతి ముఖం రెండు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను సమానదూరాలలోను, మూడవ అక్షాన్ని ఎక్కువ దూరంలోను ఖండిస్తుంది. అందువల్ల ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (hhl) అవుతుంది. h,l ల విలువలు మారేకొద్దీ వేరువేరు త్రి- అష్ట త్రిభుజపార్శ్వకలు రూపొందుతాయి. ఉదాహరణకు రూపంలోని ముఖాలు రెండు అక్షాలను ఒక ప్రమాణదూరంలోను, మూడో అక్షాన్ని రెండు ప్రమాణదూరాలలోను ఖండిస్తే ఆరూపం చిహ్నం (221) అవుతుంది. ఇదే విధంగా (331), (332) మొదలైన చిహ్నాలు గల త్రి- అష్టత్రిభుజ పార్శ్వకలు ఎన్నైనా ఉండవచ్చు. (221) రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

221, $22\bar{1}$, 122, $12\bar{2}$, 212, $21\bar{2}$

$\bar{2}21$, $\bar{2}2\bar{1}$, $\bar{1}22$, $\bar{1}2\bar{2}$, $\bar{2}12$, $\bar{2}1\bar{2}$

$\bar{2}\bar{2}1$, $\bar{2}\bar{2}\bar{1}$, $\bar{1}\bar{2}2$, $\bar{1}\bar{2}\bar{2}$, $\bar{2}\bar{1}2$, $\bar{2}\bar{1}\bar{2}$

$2\bar{2}1$, $2\bar{2}\bar{1}$, $1\bar{2}2$, $1\bar{2}\bar{2}$, $2\bar{1}2$, $2\bar{1}\bar{2}$

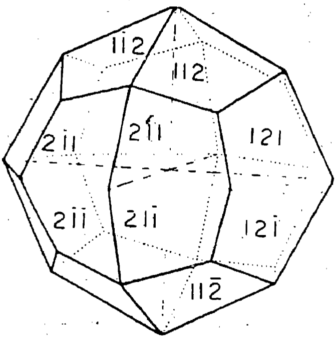
త్రి-అష్టచతుర్భుజ పార్శ్వక (Trapezohedron) : ఈరూపంలో 24 విషమ చతుర్భుజాకార (trapezoid) ముఖాలు, 48 అంచులు, 26 మూలలు ఉంటాయి (పటం 6.13). ముఖాల భుజాలలో రెండు భుజాలు ఒక పొడవుతోను మిగిలిన రెండు భుజాల మరొక పొడవుతోను ఉంటాయి. అంచులలో 24 పొడుగు అంచులు ఒక గణానికి, 24 పొట్టి అంచులు మరొక గణానికి చెందుతాయి. నాలుగేసి పొడుగు అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 6 మూలలు ఒక గణానికి, మూడేసి పొట్టి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 8 మూలలు మరొక గణానికి, రెండేసి పొడుగు అంచులు, రెండేసి పొట్టి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 12 మూలలు వేరొక గణానికి చెందుతాయి. అష్టపార్శ్వకలోని ప్రతి ముఖం స్థానంలో ఈ రూపం ముఖాలు మూడు ఒక సూచివలె అమరి ఉంటాయి కాబట్టి, దీని ముఖాలు చతుర్భుజాకారంలో ఉంటాయి కాబట్టి ఈ రూపానికి త్రి-అష్ట చతుర్భుజ పార్శ్వక అనే పేరు వచ్చింది. ప్రతి ముఖం రెండు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను సమాన దూరాలలోను, మూడో అక్షాన్ని తక్కువ దూరంలోను ఖండిస్తుంది. అందువల్ల ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (hll) అవుతుంది. h,l ల విలువలు మారే కొద్దీ వేరువేరు త్రి-అష్టచతుర్భుజపార్శ్వకలు రూపొందుతాయి. ఉదాహరణకు రూపంలోని ముఖాలు రెండు అక్షాలను రెండు ప్రమాణ దూరాలలోను, మూడో అక్షాన్ని ఒక ప్రమాణ దూరంలోను ఖండిస్తే ఆ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (211) అవుతుంది. అదే విధంగా (311), (411), (322) మొదలైన చిహ్నాలు గల త్రి-అష్ట చతుర్భుజ పార్శ్వకలు చాలా ఉంటాయి. (211) రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

211, $21\bar{1}$, 121, $12\bar{1}$, 112, $11\bar{2}$

$\bar{2}11$, $\bar{2}1\bar{1}$, $\bar{1}21$, $\bar{1}2\bar{1}$, $\bar{1}12$, $\bar{1}1\bar{2}$

$\bar{2}\bar{1}1$, $\bar{2}\bar{1}\bar{1}$, $\bar{1}\bar{2}1$, $\bar{1}\bar{2}\bar{1}$, $\bar{1}\bar{1}2$, $\bar{1}\bar{1}\bar{2}$

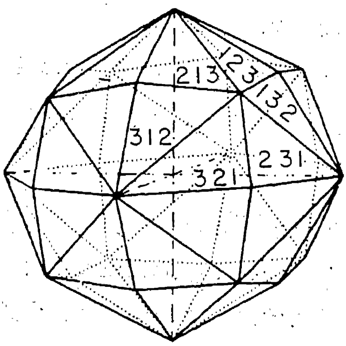
$2\bar{1}1$, $2\bar{1}\bar{1}$, $1\bar{2}1$, $1\bar{2}\bar{1}$, $1\bar{1}2$, $1\bar{1}\bar{2}$



పటం 6.13 త్రి-అష్టచతుర్భుజపార్శ్వక

షట్-అష్టపార్శ్వక (Hexoctahedron) : ఈరూపంలో 48 విషమబాహు త్రిభుజాకార (scalene triangular) ముఖాలు, 72 అంచులు, 26 మూలలు ఉంటాయి (పటం 6.14). అంచులలో 24 పొడుగు అంచులు ఒకగణానికి, 24 మధ్యరకం అంచులు మరొక గణానికి, 24 పొట్టి అంచులు వేరొక గణానికి చెందుతాయి. నాలుగేసి మధ్యరకం అంచులు, నాలుగేసి పొట్టి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 6 మూలలు ఒక గణానికి, మూడేసి పొడుగు అంచులు, మూడేసి పొట్టి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 12 మూలలు మరొక గణానికి, రెండేసి మధ్యరకం అంచులు, రెండేసి పొట్టి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 8 మూలలు వేరొక గణానికి చెందుతాయి. అష్టపార్శ్వకలోని ప్రతి ముఖం స్థానంలో ఈ రూపం ముఖాలు ఆరు ఒక సూచివలె అమరి ఉంటాయి. అందువల్ల దీనికి షట్-అష్టపార్శ్వక అనే పేరు వచ్చింది. దీనిలో ప్రతి ముఖం మూడు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను వేరువేరు దూరాలలో ఖండిస్తుంది కాబట్టి ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (hkl) అవుతుంది. h,k,l ల విలువలు మారే కొద్దీ (321), (432), (632) మొదలైన చిహ్నాలు గల వేరువేరు షట్ - అష్టపార్శ్వకలు రూపొందుతాయి. (321) రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు:

321,	$32\bar{1}$,	231,	$23\bar{1}$,	132,	$13\bar{2}$
123,	$12\bar{3}$,	213,	$21\bar{3}$,	312,	$31\bar{2}$
$\bar{3}21$,	$\bar{3}2\bar{1}$,	$\bar{2}31$,	$\bar{2}3\bar{1}$,	$\bar{1}32$,	$\bar{1}3\bar{2}$
$\bar{1}23$,	$\bar{1}2\bar{3}$,	$\bar{2}13$,	$\bar{2}1\bar{3}$,	$\bar{3}12$,	$\bar{3}1\bar{2}$
$\bar{3}\bar{2}1$,	$\bar{3}\bar{2}\bar{1}$,	$\bar{2}\bar{3}1$,	$\bar{2}\bar{3}\bar{1}$,	$\bar{1}\bar{3}2$,	$\bar{1}\bar{3}\bar{2}$
$\bar{1}\bar{2}3$,	$\bar{1}\bar{2}\bar{3}$,	$\bar{2}\bar{1}3$,	$\bar{2}\bar{1}\bar{3}$,	$\bar{3}\bar{1}2$,	$\bar{3}\bar{1}\bar{2}$
$3\bar{2}1$,	$3\bar{2}\bar{1}$,	$2\bar{3}1$,	$2\bar{3}\bar{1}$,	$1\bar{3}2$,	$1\bar{3}\bar{2}$
$1\bar{2}3$,	$1\bar{2}\bar{3}$,	$2\bar{1}3$,	$2\bar{1}\bar{3}$,	$3\bar{1}2$,	$3\bar{1}\bar{2}$



పటం 6.14 షట్-అష్టపార్శ్వక

షట్-అష్టపార్శ్వక ఈ సౌష్ఠవ విభాగంలో అంటే గెలీనారీతిలో మాత్రమే లభిస్తుంది. ఈ రూపంలోని ముఖాలు చేసే అంతర్ ఖండనాల సంబంధాలలో అనువైన రీతులలో మార్పులు చేసి ఈ సౌష్ఠవ విభాగానికి చెందిన ఇతర ఆరు రూపాలను ఉత్పాదన చేయవచ్చు. అందువల్ల షట్-అష్టపార్శ్వక ఈ సౌష్ఠవ రీతి సాధారణ రూపం అవుతుంది. మిగిలిన రూపాలు విశిష్టరూపాలు అవుతాయి. ఈ విశిష్ట రూపాలలోని ముఖాలకు సౌష్ఠవ మూలకాలకు మధ్య ఉన్న సంబంధాన్ని గమనిస్తే (100),(110), (111) రూపాలలోని ముఖాలు ఏదో ఒక రకం సౌష్ఠవ అక్షాలకు (వరసగా 3xl.Ax^{IV}, 6 Diag.Ax^{II}, 4 Diag.Ax^{III} లకు) లంబంగా ఉంటాయని (hko), (hhl), (hll) రూపాలలోని ముఖాలు సౌష్ఠవ వికర్ణ సమతలాలకు లంబంగా ఉంటాయని తెలుస్తుంది.

పై ఏడు రూపాలలో షట్ పార్శ్వక (100), ద్వాదశ పార్శ్వక (110), అష్టపార్శ్వక (111) అవధిరూపాలు; మిగిలిన నాలుగు రూపాలు అస్థిర రూపాలు. ఈ ఏడు రూపాలలో రెండు లేదా అంతకన్న ఎక్కువ రూపాలు కలిసి సంయోగరూపాలుగా ఏర్పడవచ్చు. ఇటువంటి సంయోగరూపాలను కొన్నింటిని ఖనిజ ఉదాహరణలలో ఇచ్చాం.

ఖనిజ ఉదాహరణలు

సమాక్ష వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగం లేదా గెలీనారీతికి చెందిన సరళ లేదా సంయోగ రూపాలలో స్ఫటికీకరణ చెందే కొన్ని ముఖ్యమైన ఖనిజాలను, వాటి స్ఫటిక రూపాలను కింద పేర్కొన్నాం.

గెలీనా : షట్పార్శ్వక; షట్ పార్శ్వక + ద్వాదశ పార్శ్వక (పటం 6.15)
షట్ పార్శ్వక + అష్టపార్శ్వక
షట్పార్శ్వక + ద్వాదశపార్శ్వక + అష్టపార్శ్వక (పటం 6.16)

మాగ్నటైట్ : అష్టపార్శ్వక; అష్టపార్శ్వక + ద్వాదశపార్శ్వక (పటం 6.17)

క్రోమైట్ : అష్టపార్శ్వక

గోల్డ్ : అష్టపార్శ్వక; ద్వాదశపార్శ్వక;
షట్ పార్శ్వక + అష్టపార్శ్వక (పటం 6.18)

డైమండ్ : అష్టపార్శ్వక

ఫ్లోరైట్ : షట్పార్శ్వక; అష్టపార్శ్వక;
షట్పార్శ్వక + చతుష్షట్పార్శ్వక (పటం 6.19)
షట్ పార్శ్వక + షట్-అష్టపార్శ్వక (పటం 6.20)

హేలైట్ : షట్పార్శ్వక

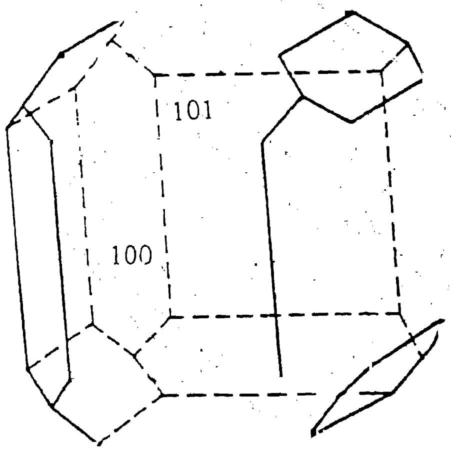
స్పినెల్ : అష్టపార్శ్వక; అష్టపార్శ్వక + ద్వాదశ పార్శ్వక (పటం 6.21)

గార్నెట్ : ద్వాదశపార్శ్వక; త్రి-అష్టచతుర్భుజపార్శ్వక;
ఈరెండింటి సంయోగరూపం (పటం 6.22)

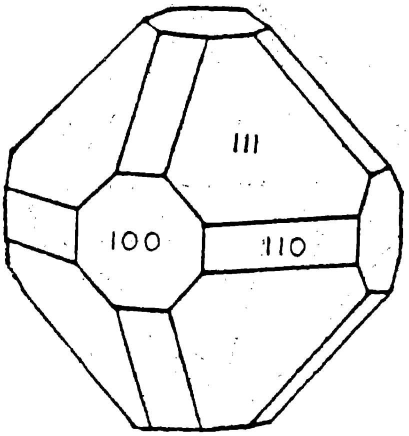
లూసైట్ : త్రి-అష్టచతుర్భుజపార్శ్వక

సోడాలైట్ : ద్వాదశపార్శ్వక

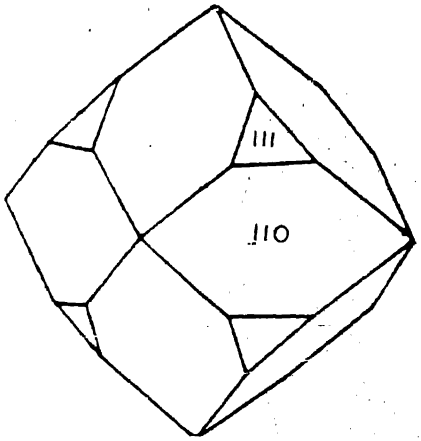
ఎనాల్సైట్ : షట్పార్శ్వక + త్రి-అష్టచతుర్భుజ పార్శ్వక (పటం 6.23)



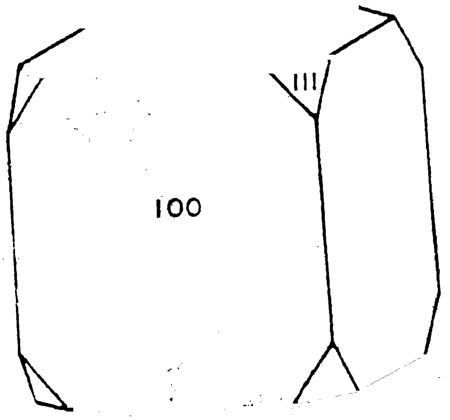
పటం 6.15 గెలీనా స్ఫటికం



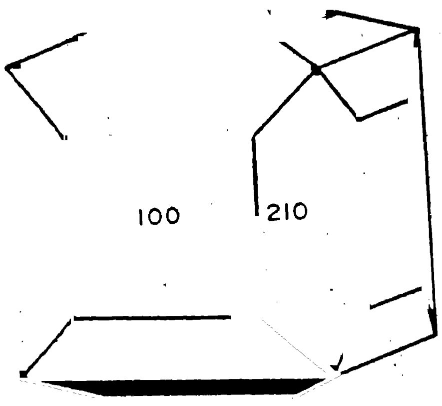
పటం 6.16 గెలీనా స్ఫటికం



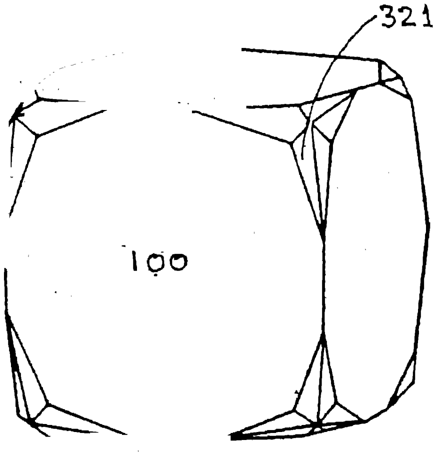
పటం 6.17 మాగ్నటైట్ స్ఫటికం



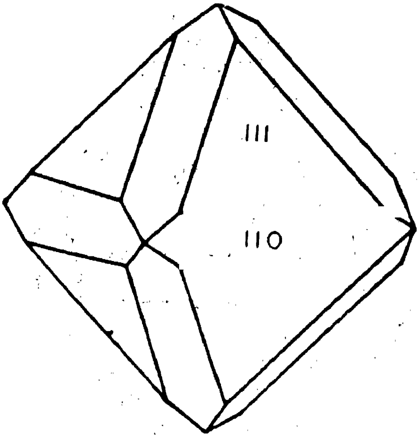
పటం 6.18 గోల్డ్ స్ఫటికం



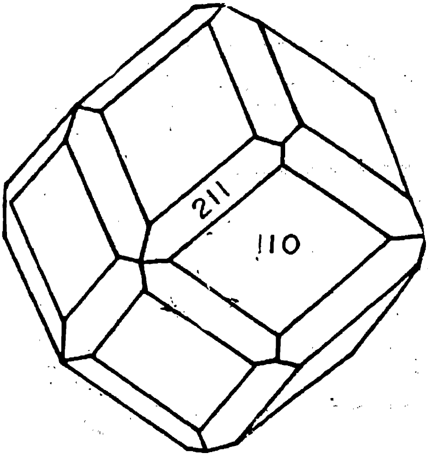
పటం 6.19 ఫ్లోరైట్ స్ఫటికం



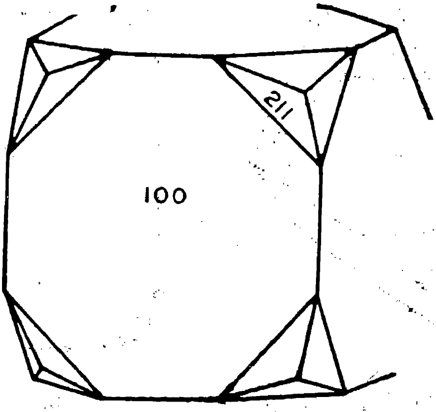
పటం 6.20 ఫ్లోరైట్ స్ఫటికం



పటం 6.21 స్పినెల్ స్ఫటికం



పటం 6.22 గార్నెట్ స్ఫటికం

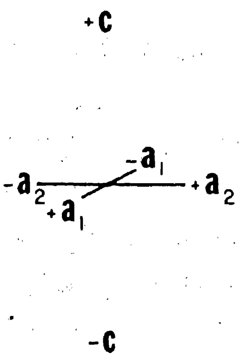


పటం 6.23 ఎనాల్సైట్ స్ఫటికం

చతుష్కోణ వ్యవస్థ - నార్మల్ విభాగం

స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు

ఒకదానికొకటి లంబంగా ఉండి సమానమైన పొడవులుగల రెండు క్షితిజ సమాంతర స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలు (a_1, a_2), వాటి కన్న పొడవుగా లేదా పొట్టిగా ఉన్న క్షితిజలంబ స్ఫటిక రేఖీయాక్షం (c)-వీటికి అనుగుణంగా అధ్యయనం చేసే స్ఫటికాలన్నీ చతుష్కోణ వ్యవస్థకు చెందుతాయి. రెండు క్షితిజ సమాంతర అక్షాలు సమానంగా ఉంటాయి కాబట్టి వాటిని పరస్పరం మార్పిడి చేయవచ్చు. స్ఫటికాన్ని సరిగా స్థాన నిర్దేశం చేసినప్పుడు c అక్షం క్షితిజలంబంగాను, a_1 అక్షం ముందు నుంచి వెనుకకు, a_2 అక్షం కుడి నుంచి ఎడమకు అమరి ఉంటాయి. ధనసంజ్ఞలుచూపే a_1 కొన ముందు వైపున, a_2 కొన కుడివైపున, c కొన పైవైపున ఉంటాయి. ఈ వ్యవస్థ అక్షకూటమిని పటం 6.24లో చూడవచ్చు. దీని అక్షమూలకాలను $a=b\neq c$ లేదా $a_1=a_2\neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^0$ అని రాయవచ్చు.

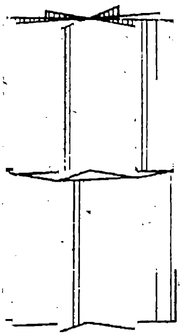


పటం 6.24 చతుష్కోణ వ్యవస్థ అక్షకూటమి

సౌష్ఠవ మూలకాలు

ఈ వ్యవస్థలోని పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగం లేదా నార్మల్ విభాగాన్ని ద్విచతుష్కోణ ద్విసూచి విభాగం (ditetragonal-bipyramidal class) లేదా జిర్కాన్ రీతి (Zircon type) అని అంటారు. షట్ పార్శ్వకను c-అక్షం వెంబడి పైకి, కిందికి ఒకే పీడన బలంతో సాగతీసినా, లేదా నొక్కినా రూపొందే చతురస్రాకార పట్టకం (square prism) లో a,b అక్షాల పొడవులు సమానంగాను, c అక్షం పొడవు వీటికన్న ఎక్కువగా లేదా తక్కువగా ఉంటుంది. కాబట్టి ఈరూపం చతుష్కోణ వ్యవస్థకు చెందుతుంది. ఈ రూపం ఆధారంగా జిర్కాన్ రీతి సౌష్ఠవ మూలకాలను అధ్యయనం చేయవచ్చు. ఇటువంటి స్ఫటిక రూపంలో మూడు అక్షసమతలాలు సౌష్ఠవ సమతలాలే. అయితే షట్ పార్శ్వకకు భిన్నంగా, దీనిలో సౌష్ఠవ వికర్ణ సమతలాలు రెండు మాత్రమే ఉంటాయి. స్ఫటికాన్ని పై నుంచి కిందికి వికర్ణంగా విభజించే ఒక జత వికర్ణ సమతలాలే ఈ రెండు సౌష్ఠవ సమతలాలు. ముందు నుంచి వెనుకకు, కుడి నుంచి ఎడమకు ఏటవాలుగా విభజించే రెండు జతల వికర్ణ సమతలాలు సౌష్ఠవ సమతలాలు కావు. అందువల్ల జిర్కాన్ రీతిలో మూడు సౌష్ఠవ

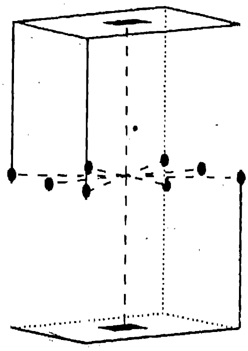
అక్ష సమతలాలు, రెండు క్షితిజలంబ సౌష్ఠవ వికర్ణ సమతలాలు, మొత్తం అయిదు సౌష్ఠవ సమతలాలు ఉంటాయి (పటం 6.25).



పటం 6.25 చతుష్కోణ వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవ సమతలాలు

పైన చెప్పిన స్ఫటిక రూపాన్ని పైముఖం, కింది ముఖం మధ్య బిందువుల వద్ద పట్టుకొని, అంటే c-అక్షం పైన, భ్రమణం చేస్తే ఒక పూర్తి భ్రమణంలో ఒక ముఖం నాలుగు సార్లు సర్వసమస్థానాలను ఆక్రమిస్తుంది. అంటే c-అక్షం చతురావృత్త సౌష్ఠవాన్ని చూపుతుంది. స్ఫటికాన్ని ముందు వెనుక ముఖాల మధ్య బిందువుల వద్ద పట్టుకొని అదేవిధంగా కుడి, ఎడమ ముఖాల మధ్య బిందువుల వద్ద పట్టుకొని భ్రమణం చేస్తే ఒక పూర్తి భ్రమణంలో ఒక ముఖం రెండుసార్లు సర్వసమస్థానాలను పొందుతుంది. అంటే ఎదురెదురు ముఖాలను కలిపే ఈ రెండు అక్షాలు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాన్ని చూపుతాయి. ఈ రూపంలో ఉండే 12 అంచులలో 4 క్షితిజలంబ అంచులు ఒక గణానికి, 8 క్షితిజ సమాంతర అంచులు మరొక గణానికి చెందుతాయి. మొదటి గణానికి చెందిన 4 అంచులలో ఎదురెదురు అంచుల మధ్య బిందువుల దగ్గర పట్టుకొని ఈ రూపాన్ని భ్రమణం చేస్తే ఒక పూర్తి భ్రమణంలో ఒక ముఖం రెండుసార్లు సర్వ సమస్థానాలను పొందుతుంది. అంటే ఈ రెండు అక్షాలు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాన్ని చూపుతాయన్నమాట. మొత్తం నాలుగు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలలో రెండు క్షితిజ సమాంతర స్ఫటికరేఖీయాక్షాలు, రెండు వికర్ణాక్షాలు. రెండవ గణానికి చెందిన 8 అంచులు సౌష్ఠవ అక్షాలను ఇవ్వవు. అదే విధంగా ఎదురెదురు మూలల ద్వారా పోయే వికర్ణాక్షాలు కూడా సౌష్ఠవాక్షాలు కావు. అంటే మొత్తం మీద ఈ స్ఫటిక రూపంలో ఒక చతురావృత్త సౌష్ఠవ స్ఫటికరేఖీయాక్షం (c), రెండు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవ స్ఫటికరేఖీయాక్షాలు (a_1, a_2), రెండు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవ వికర్ణాక్షాలు, మొత్తం అయిదు సౌష్ఠవాక్షాలు ఉంటాయి (పటం 6.26).

పై రూపంలోని సదృశ ముఖాలు, అంచులు, మూలలు జతలు జతలుగా దాని కేంద్రబిందువుకు రెండు వైపులా వ్యాసరేఖీయంగా అమరి ఉంటాయి కాబట్టి ఈ రూపంలో సౌష్ఠవకేంద్రం ఉంటుంది.



పటం 6.26 చతుష్కోణ వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవాక్షాలు

పైన ఉదహరించిన చతురస్రాకార పట్టకరూపం చూపే సౌష్ఠవ మూలకాలను అంటే జిర్కాన్ రీతి సౌష్ఠవ మూలకాలను కింద చూపిన విధంగా క్లుప్తంగా రాయవచ్చు.

3 సౌష్ఠవ అక్షసమతలాలు (3Ax.P.)
2 సౌష్ఠవ క్షితిజలంబ - వికర్ణసమతలాలు (2Vert. Diag.P.)
} మొత్తం 5 సౌష్ఠవ సమతలాలు

చతురావృత్త సౌష్ఠవ క్షితిజలంబ స్ఫటికరేఖీయాక్షం (c^{IV})
2 ద్విరావృత్త సౌష్ఠవ క్షితిజ సమాంతర స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు (2Hor.Xl.Ax.^{II})
2 ద్విరావృత్త సౌష్ఠవ వికర్ణాక్షాలు (2 Diag. Ax.^{II})
} మొత్తం 5 సౌష్ఠవాక్షాలు

సౌష్ఠవ కేంద్రం (C)

పైన వివరించిన సౌష్ఠవ మూలకాలలో సౌష్ఠవ అక్షసమతలాలు, సౌష్ఠవ స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలకు లంబంగాను, సౌష్ఠవ క్షితిజలంబ వికర్ణ సమతలాలు సౌష్ఠవ వికర్ణాక్షాలకు లంబంగాను ఉంటాయి.

సరళ రూపాలు

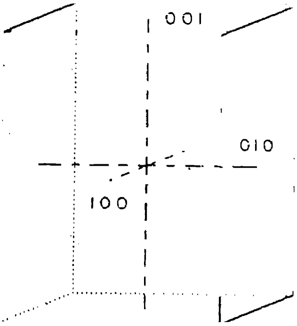
చతుష్కోణ వ్యవస్థలోని నార్మల్ విభాగంలో ప్రధానంగా 7 సరళ రూపాలు ఉంటాయి. వీటిలో నాలుగు వివృత రూపాలు, మూడు సంవృత రూపాలు. ఇవన్నీ పూర్ణాంశక రూపాలే. ఈ రూపాలను కింద వర్ణించాం.

ఆధారద్విపార్శ్వక (Basal pinacoid) : ఈరూపంలోని ముఖాలు c- అక్షాన్ని ఖండించి, a_1, a_2 అక్షాలకు సమాంతరంగా ఉంటాయి. అంటే దీనిలో రెండు క్షితిజ సమాంతర ముఖాలు మాత్రమే ఉంటాయి (పటం 6.27). దీని మిల్లర్ చిహ్నం (001) అవుతుంది. దీనిలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు 001 (పై ముఖం), $00\bar{1}$(కింది ముఖం). కేవలం రెండు ముఖాలు స్థలాన్ని ఆవరించలేవు. అవి ఇతర రూపంతో కలవకుండా స్ఫటికాన్ని రూపొందించలేవు. అందువల్ల ఇది ఒక వివృతరూపం.

చతుష్కోణ పట్టకం (100) [Tetragonal prism (100)] : దీనిలో c- అక్షానికి సమాంతరంగాను, a_1, a_2 అక్షాలలో ఒక దానిని ఖండిస్తూ, రెండవ దానికి సమాంతరగాను ఉండే క్షితిజలంబ ముఖాలు నాలుగు ఉంటాయి. అంటే వీటిలో రెండు ముఖాలు a_1 అక్షాన్ని, రెండు ముఖాలు a_2 అక్షాన్ని ఖండిస్తాయి (పటం 6.27). ఈ ముఖాలు పరస్పరం ఖండించుకోవడం వల్ల 4 అంచులు ఏర్పడతాయి. ఇవన్నీ ఒకే గణానికి చెందుతాయి. ఇది కూడా ఒక వివృత రూపం. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (100). ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$100, \quad \bar{1}00, \quad 010, \quad 0\bar{1}0$$

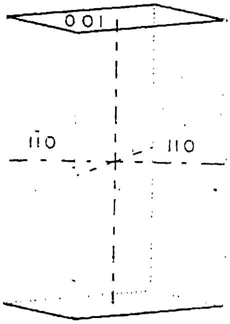
ఈ రూపాన్ని రెండవక్రమం చతుష్కోణ పట్టకం (tetragonal prism of second order) అని కూడా అంటారు.



పటం 6.27 చతుష్కోణ పట్టకం (100) + ఆధారద్విపార్శ్వక (001)

చతుష్కోణ పట్టకం (110) [Tetragonal prism (110)] : దీనిలో c-అక్షానికి సమాంతరంగా ఉండి, a_1, a_2 అక్షాలను రెండింటినీ ప్రమాణ దూరాలలో ఖండించే నాలుగు క్షితిజలంబ ముఖాలు ఉంటాయి (పటం 6.28). ఈ ముఖాలు ఖండించుకోవడం వల్ల ఒకే గణానికి చెందిన అంచులు నాలుగు ఏర్పడతాయి. ఇది కూడా ఒక వివృత రూపమే. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (110). ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$110, \quad \bar{1}10, \quad \bar{1}\bar{1}0, \quad 1\bar{1}0$$



పటం 6.28 చతుష్కోణ పట్టకం (110) + ఆధార ద్విపార్శ్వక (001)

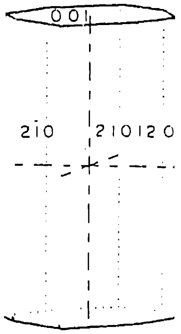
ాపాన్ని మొదటిక్రమం చతుష్కోణ పట్టకం (Tetragonal prism of first order) అంటారు.

వర్ణించిన రెండు పట్టకాలు జ్యామితీయంగా ఒకే రూపాన్ని చూపుతాయి. వీటి ో మాత్రం భేదం ఉంటుంది. పట్టకం (100)లో a_1, a_2 అక్షాలు ఎదురెదురు ధ్య బిందువులను కలుపుతాయి కాని పట్టకం (110) లో a_1, a_2 అక్షాలు ంగా ఉన్న ఎదురెదురు అంచులమధ్య బిందువులను కలుపుతాయి (పటాలు 6.27, ందువల్ల ముఖాలకు a_1, a_2 అక్షాలకు మధ్య ఉన్న సంబంధాలలో తేడా ఉంటుంది.

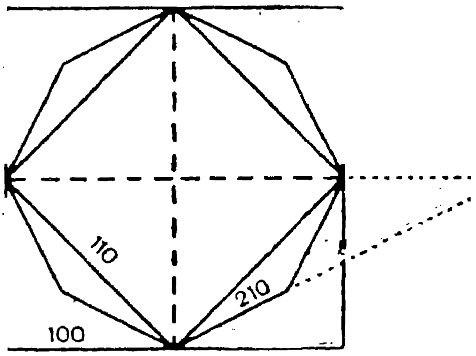
తుష్కోణ పట్టకం (**Ditetragonal prism**) : పైన వర్ణించిన చతుష్కోణ పట్టకం ప్రతిముఖం c-అక్షానికి సమంతరంగా ఉండి, క్షితిజ సమాంతరాక్షాలను సమాన ఖండిస్తుంది. అలాకాక ప్రతిముఖం c - అక్షానికి సమాంతరంగా ఉండి క్షితిజ క్షాలను వేరు వేరు దూరాలలో ఖండిస్తే ఆ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (hko) అవుతుంది. కు ప్రతి ముఖం a_1 అక్షాన్ని ఒక ప్రమాణ దూరంలోను, a_2 అక్షాన్ని రెండు ప్రమాణ ను ఖండిస్తే ఆరూపం మిల్లర్ చిహ్నం (210) అవుతుంది. ఈరూపంలో పట్టకం ఉన్నట్లు నాలుగు క్షితిజలంబ ముఖాలుకాక ఎనిమిది క్షితిజలంబ ముఖాలు ఉంటాయి 29). ఈ రూపం మధ్య ఛేదం ఏకాంతరకోణాలు సమానంగా ఉన్న సమ అష్టభుజి ఉంటుంది. దీని ముఖాలు పరస్పరం ఖండించుకోవడం వల్ల ఒకే గణానికి చెందిన ఏర్పడతాయి. ఇది కూడా ఒక వివృత రూపమే. ద్విచతుష్కోణ పట్టకం (210) ల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$210,\quad 120,\quad \bar{1}20,\quad \bar{2}10$$
$$\bar{2}\bar{1}0,\quad \bar{1}\bar{2}0,\quad 1\bar{2}0,\quad 2\bar{1}0$$

వర్ణించిన మూడు రకాల పట్టకాల సంబంధాలను పటం 6.30లో చూడవచ్చు



29 ద్విచతుష్కోణ పట్టకం (210) ఆధార ద్విపార్శ్వక (001)



పటం 6.30 చతుష్కోణ పట్టకాలు (100), (110), ద్విచతుష్కోణ పట్టకం (210)ల సంబంధం (క్షితిజ సమాంతర ఛేదంలో)

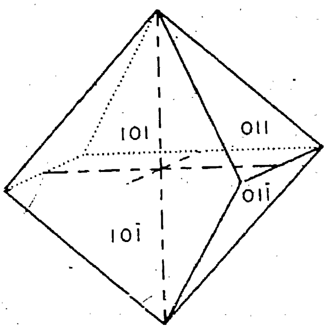
చతుష్కోణ ద్విసూచి (h0l) [Tetragonal Bipyramid (h0l)] : ఈ రూపంలో 8 సమద్విబాహుత్రిభుజాకార ముఖాలు, 12 అంచులు, 6 మూలలు ఉంటాయి. ఇది ఒక సంవృత రూపం. దీనిలోని ముఖాలు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 12 అంచులలో 8 కడపటి అంచులు (terminal edges) ఒకగణానికి , 4 పార్శ్వపు అంచులు (lateral edges) మరొక గణానికి చెందుతాయి. ఈ రూపంలో ఉండే 6 మూలలలో నాలుగేసి కడపటి అంచులు ఖండించు కోవడం వల్ల ఏర్పడే 2 మూలలు ఒక గణానికి, రెండేసి కడపటి అంచులు, రెండేసి పార్శ్వపు అంచులు ఖండంచుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 4 మూలలు మరొక గణానికి చెందుతాయి (పటం 6.31). ముఖాలు c - అక్షాన్ని, a_1, a_2 - అక్షాలలో ఒకదానిని ఖండించి రెండవ దానికి సమాంతరంగా ఉంటాయి. ముఖాలు ఆయా అక్షాలను సమానదూరాలలో గాని అసమానదూరాలలోగాని ఖండించవచ్చు. అంటే h,l ల విలువలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. ముఖాలు c- అక్షాన్ని, a_1, a_2 అక్షాలలో ఒక దానిని ప్రమాణ దూరాలలో ఖండిస్తే ఆరూపం మిల్లర్ చిహ్నం (101) అవుతుంది. వేరువేరు దూరాలలో ఖండిస్తే ఆరూపాలకు (201), (302) మొదలైన చిహ్నాలు ఉంటాయి. (101) రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$1 0 1,\quad 1 0 \bar{1},\quad 0 1 1,\quad 0 1 \bar{1}$$

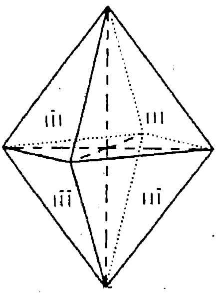
$$\bar{1} 0 1,\quad \bar{1} 0 \bar{1},\quad 0 \bar{1} 1,\quad 0 \bar{1} \bar{1}$$

ఈ రూపాన్ని రెండవక్రమం చతుష్కోణ ద్విసూచి (Tetragonal Bipyramid of second order) అని కూడా అంటారు.

చతుష్కోణ ద్విసూచి (hhl) [Tetragonal Bipyramid (hhl)] : ఈ రూపంలో పైన వర్ణించిన రూపంలో మాదిరిగానే 8 సమద్విబాహు త్రిభుజాకార ముఖాలు, 12 అంచులు, 6 మూలలు ఉంటాయి. ఇది కూడా ఒక సంవృత రూపమే. దీనిలోని ముఖాలు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 12 అంచులలో 8 కడపటి అంచులు ఒక గణానికి, 4 పార్శ్వపు అంచులు మరొకగణానికి చెందుతాయి. ఈ రూపంలో ఉండే 6 మూలలలో నాలుగేసి కడపటి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 2 మూలలు ఒక గణానికి, రెండేసి కడపటి అంచులు, రెండేసి పార్శ్వపు అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 4 మూలలు మరొక గణానికి చెందుతాయి (పటం 6.32).



పటం 6.31 చతుష్కోణ ద్విసూచి (101)



పటం 6.32 చతుష్కోణ ద్విసూచి (111)

ఈ రూపం జ్యామితీయంగా చతుష్కోణ ద్విసూచి (hol) ని పోలి ఉంటుంది. కాని వీటి స్థాన నిర్దేశంలో తేడా ఉంటుంది. (hol) రూపంలో a_1, a_2 అక్షాలు ఎదురెదురు పార్శ్వపు అంచుల మధ్య బిందువులను కలిపితే, (hhl) రూపంలో అవి ఎదురెదురు పార్శ్వపు మూలలను కలుపుతాయి. అందువల్ల ముఖాలకు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలకు మధ్య సంబంధాలలో భేదం ఉంటుంది. దీనిలోని ముఖాలు మూడు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను ఖండిస్తాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (hhl). h,l ల విలువలు సమానంగా ఉండవచ్చు లేదా h విలువలు ఎక్కువ లేదా తక్కువ ఉండవచ్చు. ముఖాలు మూడు అక్షాలను సమానదూరాలలో ఖండించవచ్చు, లేదా రెండు అక్షాలను సమాన దూరాలలోను మూడవ అక్షాన్ని అసమాన దూరంలోను ఖండించవచ్చు. మూడు అక్షాలపై ఒక్కొక్క ప్రమాణ దూరాల అంతర్ ఖండనాలు చేసే ముఖాలుగల రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (111) అవుతుంది. మిగిలిన రూపాలకు (221) (332), (441), (112), (223), (114) మొదలైన చిహ్నాలు ఉంటాయి. (111) రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

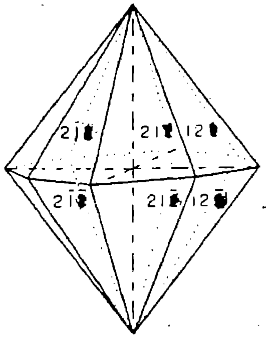
$$1\,1\,1,\quad 1\,1\,\bar{1},\quad \bar{1}\,1\,1,\quad \bar{1}\,1\,\bar{1}$$
$$\bar{1}\,\bar{1}\,1,\quad \bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1},\quad 1\,\bar{1}\,1,\quad 1\,\bar{1}\,\bar{1}$$

ఈరూపాన్ని మొదటి క్రమం చతుష్కోణ ద్విసూచి (Tetragonal Bipyramid of first order) అని కూడా అంటారు.

ద్విచతుష్కోణ ద్విసూచి (Ditetragonal Bipyramid) : ఈరూపంలో 16 సమద్విబాహు లేదా విషమబాహు త్రిభుజాకార ముఖాలు, 24 అంచులు, 10 మూలలు ఉంటాయి. ఇది ఒక సంవృత రూపం. అంచులలో 8 కడపటి అంచులు ఒక గణానికి, మరో 8 కడపటి అంచులు మరొకగణానికి, మిగిలిన 8 పార్శ్వపు అంచులు వేరొక గణానికి చెందుతాయి. ఎనిమిదేసి కడపటి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 2 మూలలు ఒక గణానికి, మొదటి గణానికి చెందిన రెండు కడపటి అంచులు, రెండు పార్శ్వపు అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 4 మూలలు మరొకగణానికి, రెండవ గణానికి చెందిన రెండు కడపటి అంచులు, రెండు పార్శ్వపు అంచులు ఖండించుకోవడం ఏర్పడే 4 మూలలు వేరొక గణానికి చెందుతాయి (పటం 6.33). ఈ రూపం మధ్య ఛేదం ఏకాంతర కోణాలు సమానంగా ఉన్న సమ అష్టభుజి ఆకారంలో ఉంటుంది.

ముఖాలు మూడు స్ఫటికరేఖీయాక్షాలను ఖండిస్తాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (hkl). ఈ చిహ్నం చూపే రూపాలలో h విలువ k విలువ కంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది. l విలువ h లేదా k విలువతో సమానంగా గాని, అసమానంగాగాని ఉండవచ్చు. అంటే ముఖాలు మూడు అక్షాలను వేరువేరు దూరాలలో ఖండించవచ్చు లేదా రెండు అక్షాలను సమాన దూరాలలోను, మూడవ అక్షాన్ని అసమాన దూరంలోను ఖండించవచ్చు. (hkl), (hll) చిహ్నాలు గల రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి. (211) చిహ్నంగల రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$2\,1\,1,\quad 2\,1\,\bar{1},\quad 1\,2\,1,\quad 1\,2\,\bar{1},\quad \bar{1}\,2\,1,\quad \bar{1}\,2\,\bar{1},\quad \bar{2}\,1\,1,\quad \bar{2}\,1\,\bar{1}$$
$$\bar{2}\,\bar{1}\,1,\quad \bar{2}\,\bar{1}\,\bar{1},\quad \bar{1}\,\bar{2}\,1,\quad \bar{1}\,\bar{2}\,\bar{1},\quad 1\,\bar{2}\,1,\quad 1\,\bar{2}\,\bar{1},\quad 2\,\bar{1}\,1,\quad 2\,\bar{1}\,\bar{1}$$



పటం 6.33 ద్విచతుష్కోణ ద్విసూచి

పైన వర్ణించిన పట్టకాల , ద్విసూచుల చిహ్నాలను వరసగా పోల్చిచూస్తే పట్టకాలలో ముఖాలు c- అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటే, ద్విసూచులలో c-అక్షాన్ని ఖండిస్తాయి అని తెలుస్తుంది.

(hkl) చిహ్నం గల రూపం ఈ విభాగంలో తప్ప మరి ఏ ఇతర విభాగంలోను ఉండదు. ఇది ఈ విభాగం లోని సాధారణ రూపం. మిగిలిన ఆరు రూపాలు విశిష్ట రూపాలు. (001), (100), (110) రూపాలు అవధిరూపాలు. మిగిలిన నాలుగు రూపాలు అస్థిర రూపాలు. ఈ ఏడు సరళ రూపాలలో రెండు లేదా ఎక్కువ రూపాలు కలిసి సంయోగ రూపాలుగా ఏర్పడవచ్చు. ఇటువంటి కొన్ని సంయోగ రూపాలను గురించి ఖనిజ ఉదాహరణలలో తెలుసుకోవచ్చు.

ఖనిజ ఉదాహరణలు

చతుష్కోణ వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగం లేదా జిర్కాన్ రీతికి చెందిన సరళ రూపాలు లేదా సంయోగ రూపాలలో స్ఫటికీకరణ చెందే కొన్ని ముఖ్యమైన ఖనిజాలను, వాటి రూపాలను కింద చూడవచ్చు.

జిర్కాన్ : పట్టకం (110) + ద్విసూచి (111) (పటం 6.34)
పట్టకం (110) + ద్విసూచి (111) + ద్విసూచి (331) (పటం 6.35)

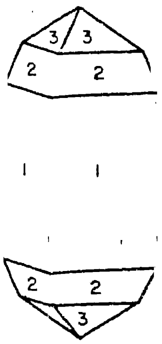
రూటైల్ : పట్టకం (100) + పట్టకం (110) + ద్విసూచి (101) + ద్విసూచి (111) (పటం 6.36)

ఎపోఫిల్లైట్ : ఆధారద్విపార్శ్వక + పట్టకం (100) + ద్విచతుష్కోణ పట్టకం (310) + ద్విసూచి (111) (పటం 6.37)
పట్టకం (100) + ద్విసూచి (111) (పటం 6.38)

ఐడోక్రేస్ : ఆధారద్విపార్శ్వక + పట్టకం (100) + పట్టకం (110) + ద్విసూచి (111) (పటం 6.39)

కాసిటరైట్ : ద్విసూచి (101) + ద్విసూచి (111) (పటం 6.40)

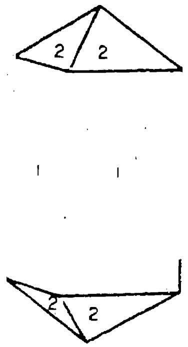
ఎనటేస్ : ద్విసూచి (101)



పటం 6.34 జిర్కాన్ స్ఫటికం

1 - చతుష్కోణ పట్టకం (110)

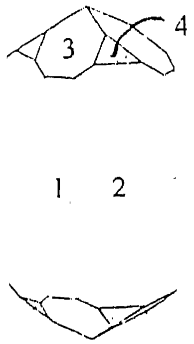
2 - చతుష్కోణ ద్విసూచి (111)



పటం 6.35 జిర్కాన్ స్ఫటికం

1 - చతుష్కోణ పట్టకం (110)

2,3 - చతుష్కోణ ద్విసూచులు



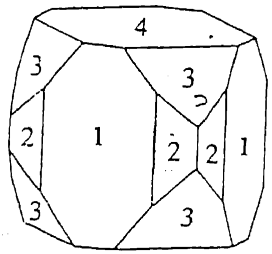
పటం 6.36 రూటైల్ స్ఫటికం

1 - చతుష్కోణ పట్టకం (100)

2 - చతుష్కోణ పట్టకం (110)

3 - చతుష్కోణ ద్విసూచి (101)

4 - చతుష్కోణ ద్విసూచి (111)



పటం 6.37 ఎపోఫిల్లైట్ స్ఫటికం

1 - చతుష్కోణ పట్టకం (100)

2 - ద్వి-చతుష్కోణ పట్టకం (310)

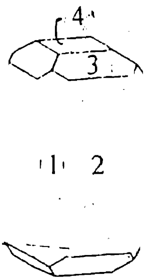
3 - చతుష్కోణ ద్విసూచి (111)

4 - ఆధార ద్విపార్శ్వక (001)

పటం 6.38 ఎపోఫిల్లైట్ స్ఫటికం

1 - చతుష్కోణ పట్టకం (100)

2 - చతుష్కోణ ద్విసూచి (111)



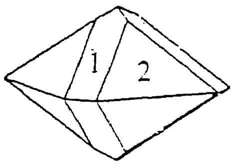
పటం 6.39 ఐడోక్రేస్ స్ఫటికం

1 - చతుష్కోణ పట్టకం (100)

2 - చతుష్కోణ పట్టకం (110)

3 - చతుష్కోణ ద్విసూచి (111)

4 - ఆధార ద్విపార్శ్వక (001)



పటం 6.40 కాసిటరైట్ స్ఫటికం

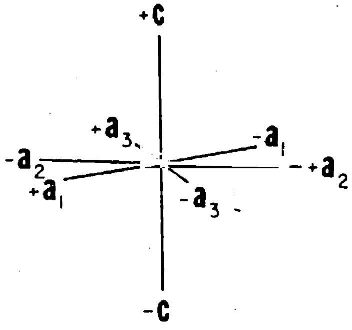
1 - చతుష్కోణ ద్విసూచి (101)

2 - చతుష్కోణ ద్విసూచి (111)

షట్కోణ వ్యవస్థ - నార్మల్ విభాగం

స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు

షట్కోణ వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటిక రూపాలను నాలుగు స్ఫటికరేకీఖీయాక్షాలకు అనుగుణంగా అధ్యయనం చేస్తారు. ఈ నాలుగు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలలో మూడు అక్షాలు సమానమైన పొడవులతో, ఒక దానినొకటి 120^0 కోణంలో ఖండించుకొంటూ క్షితిజ సమాంతరంగా ఒకే తలంలో ఉంటాయి. వీటిని a_1, a_2, a_3 అక్షాలు అంటారు. వీటిని పరస్పరం మార్పిడి చేయవచ్చు. నాలుగవ అక్షం వీటికి లంబంగా, అంటే క్షితిజలంబంగా ఉంటుంది. ఇది c - అక్షం. ఈ అక్షం మిగిలిన మూడు అక్షాలకన్న పొడవుగా ఉండవచ్చు లేదా పొట్టిగా ఉండవచ్చు. స్ఫటికాన్ని సరిగా స్థాననిర్దేశం చేసినప్పుడు c-అక్షం క్షితిజ లంబంగాను, a_1, a_3 అక్షాలు ఐమూలలుగాను, a_2 అక్షం కుడినుంచి ఎడమకు ఉంటాయి. ధన సంజ్ఞను చూపే a_1 కొన ముందువైపున, a_2 కొన కుడివైపున, a_3 కొన వెనకవైపున, c కొన పైవైపున ఉంటాయి. షట్కోణ వ్యవస్థ అక్షకూటమిని పటం 6.41లో చూడవచ్చు. ధన, ఋణ సంజ్ఞలను చూపే క్షితిజ సమాంతరాక్షాల కొనలు ఏకాంతరంగా ఉండటాన్ని పటంలో గమనించవచ్చు. అధ్యాయం 5 లో చెప్పినట్లు ఈ వ్యవస్థలోని స్ఫటికాల అక్ష మూలకాలను $a_1=a_2=a_3 \neq c$, $\beta_1=\beta_2=\beta_3=90^0$, $\gamma_1=\gamma_2=\gamma_3=120^0$ అని వ్రాయవచ్చు.



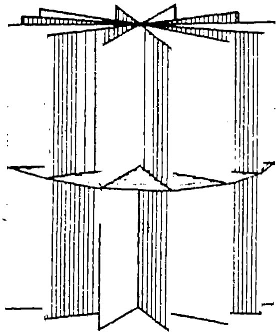
పటం 6.41 షట్కోణ వ్యవస్థ అక్షకూటమి

షట్కోణ వ్యవస్థలో నాలుగు స్ఫటికరేఖీయాక్షాలు ఉంటాయి కాబట్టి స్ఫటిక ముఖాల, రూపాల చిహ్నాలలో నాలుగుసూచికాంకాలు ఉంటాయి. ఇవి a_1-a_2-a_3-c క్రమంలో అమరి ఉంటాయి. ఈ సూచికాంకాలలో క్షితిజసమాంతరాక్షాలకు సంబంధించిన సూచికాంకకాల మొత్తం 'సున్న' అవుతుంది. అందువల్ల వీటిలో రెండు సూచికాంకాల విలువలు తెలిస్తే మూడవ దాని విలువను సులభంగా తెలుసుకోవచ్చు. నాలుగు స్ఫటికరేఖీయాక్షాలను వేరువేరు దూరాలలో ఖండించే ముఖాలుగల రూపం చిహ్నాన్ని (h k $\bar{i}$ l) ద్వారా సూచిస్తారు.

సౌష్ఠవ మూలకాలు

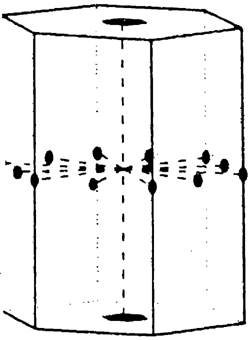
ఈవ్యవస్థలోని పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగం లేదా నార్మల్ విభాగాన్ని ద్వి-షట్కోణ ద్విసూచి విభాగం (Dihexagonal-bipyramidal class) లేదా బెరిల్ రీతి (beryl type) అని అంటారు. ఈ రీతి సౌష్ఠవ మూలకాలకు, చతుష్కోణ వ్యవస్థలోని జిర్కాన్ రీతి సౌష్ఠవ మూలకాలకు చాలా

పోలికలు ఉన్నాయి. ఈ రీతి సౌష్ఠవ మూలకాలను షడ్భుజాకార పట్టకం ఆధారంగా తెలుసుకోవచ్చు. ఈ రూపంలో నాలుగు అక్షసమతలాలు - ఒక క్షితిజ సమాంతర అక్ష సమతలం, మూడు క్షితిజ లంబ అక్ష సమతలాలు - ఉంటాయి. ఈ నాలుగూ సౌష్ఠవ సమతలాలే. ఇవి కాక పైన చెప్పిన మూడు క్షితిజలంబ అక్ష సమతలాలకు మధ్య ఉండే మరో మూడు క్షితిజ లంబ వికర్ణ సమతలాలు కూడా సౌష్ఠవ సమతలాలే. అంటే బెరిల్ రీతిలో మొత్తం 7 సౌష్ఠవ సమతలాలు ఉంటాయి (పటం 6.42).



పటం 6.42 షట్కోణ వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవ సమతలాలు

పైన చెప్పిన షడ్భుజాకార పట్టకాన్ని పైముఖం, కింది ముఖం మధ్య బిందువుల వద్ద పట్టుకొని, అంటే c- అక్షం పైన, భ్రమణం చేస్తే ఒక పూర్తి భ్రమణంలో ఒక ముఖం ఆరు సార్లు సర్వసమస్థానాలను పొందుతుంది. అంటే c-అక్షం షడావృత్త సౌష్ఠవాన్ని చూపుతుంది. రూపాన్ని ఎదురెదురు క్షితిజలంబ ముఖాల మధ్య బిందువుల వద్ద పట్టుకొని భ్రమణం చేస్తే ఒక పూర్తి భ్రమణంలో ఒక ముఖం రెండుసార్లు సర్వసమస్థానాలను పొందుతుంది. అంటే ఎదురెదురు ముఖాలను కలిపే మూడు అక్షాలు ద్వారావృత్త సౌష్ఠవాన్ని చూపుతాయి. ఈ రూపంలో ఉండే 18 అంచులలో 6 క్షితిజలంబ అంచులు ఒక గణానికి, 12 క్షితిజ సమాంతర అంచులు మరొక గణానికి చెందుతాయి. మొదటి గణానికి చెందిన 6 అంచులలో ఎదురెదురు అంచుల మధ్య బిందువులను కలిపే అక్షాలపై రూపాన్ని భ్రమణం చేస్తే ఒక పూర్తి భ్రమణంలో ఒక ముఖం రెండుసార్లు సర్వసమ స్థానాలను పొందుతుంది. అంటే ఈ మూడు అక్షాలు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాన్ని చూపుతాయన్నమాట. మొత్తం ఆరు క్షితిజ సమాంతర సౌష్ఠవాక్షాలలో మూడు క్షితిజ సమాంతర స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు, మిగిలిన మూడు క్షితిజ సమాంతర వికర్ణాక్షాలు. రెండవ గణానికి చెందిన 12 అంచులు, మూలలు సౌష్ఠవ అక్షాలను ఇవ్వవు. అంటే మొత్తం మీద ఈ రూపంలో ఒక షడావృత్త సౌష్ఠవ స్ఫటికరేఖీయాక్షం (c- అక్షం), మూడు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవ క్షితిజ సమాంతర స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు (a_1, a_2, a_3), మూడు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవ క్షితిజ సమాంతర వికర్ణాక్షాలు - మొత్తం 7 సౌష్ఠవాక్షాలు ఉంటాయి (పటం 6.43).



పటం 6.43 షట్కోణ వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవాక్షాలు

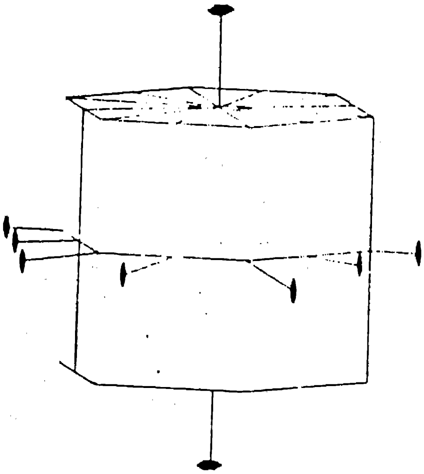
రూపంలోని సదృశముఖాలు, అంచులు, మూలలు జతలుగా దానికేంద్ర బిందువుకు లా వ్యాసరేఖీయంగా అమరి ఉంటాయి కాబట్టి ఈ రూపంలో సౌష్ఠవ కేంద్రం

ంచిన బెరిల్ రీతి సౌష్ఠవ మూలకాలను కింద విధంగా క్లుప్తంగా రాయవచ్చు.

క్ష సమతలాలు (4 Ax.P.) (1క్షితిజ సమాంతరం,3 క్షితిజలంబం.) } మొత్తం
క్షితిజ లంబ విక్షర్ణ సమతలాలు (3 Vert. Diag.P.) } 7 సౌష్ఠవ సమతలాలు

త్త సౌష్ఠవ క్షితిజలంబ స్ఫటికరేఖీయాక్షం (c^{VI})
ృత్త సౌష్ఠవ క్షితిజ సమాంతర స్ఫటికరేఖీయాక్షాలు (3 Hor.xl. Ax^{II}) } మొత్తం 7
ృత్త సౌష్ఠవ క్షితిజ సమాంతర వికర్ణాక్షాలు (3 Hor. Diag. Ax^{II}) } సౌష్ఠవాక్షాలు
ంద్రం (C)

వివరించిన సౌష్ఠవ అక్ష సమతలాలలో క్షితిజ లంబ సమతలాలు సౌష్ఠవ క్షితిజ వికర్ణాక్షాలకు, సౌష్ఠవ క్షితిజలంబ విక్షర్ణ సమతలాలు సౌష్ఠవ స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలకు, ంతర సౌష్ఠవ అక్ష సమతలం c-అక్షానికి లంబంగా ఉంటాయి (పటం 6.44).



.44 షట్కోణ వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవ సమతలాలకు, సౌష్ఠవాక్షాలకు మధ్య సంబంధం

సరళ రూపాలు

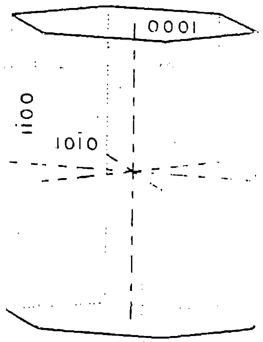
షట్కోణ వ్యవస్థలోని నార్మల్ విభాగంలో ప్రధానంగా 7 సరళ రూపాలు ఉన్నాయి. వీటికి, జిర్కాన్ రీతిలోని 7 సరళ రూపాలకు ఆకారం, పేర్లలో చాలా సారూప్యత ఉంది. జిర్కాన్ రీతిలో మాదిరిగానే వీటిలో నాలుగు వివృత రూపాలు, మూడు సంవృత రూపాలు, అన్నీ పూర్ణాంశక రూపాలే ఉంటాయి. వివృత రూపాలలో ఒకటి ద్విపార్శ్వ్యక, మూడు పట్టకాలు; సంవృత రూపాలు మూడు ద్విసూచులు. ఈ రూపాలను కింద వర్ణించాము.

ఆధార ద్విపార్శ్వ్యక (Basal Pinacoid) : ఇది వివృత రూపం. దీనిలో రెండు ముఖాలు ఉంటాయి. ఇవి c-అక్షాన్ని ఖండించి, మిగిలిన స్ఫటికరేఖీయాక్షాలకు సమాంతరంగా ఉంటాయి. అంటే ఈ ముఖాలు క్షితిజ సమాంతరంగా ఉంటాయన్నమాట. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (0001). ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు 0001 (పైముఖం), $000\bar{1}$ (కింది ముఖం)

షట్కోణ పట్టకం $(10\bar{1}0)$ [Hexagonal Prism $(10\bar{1}0)$] : ఈ రూపంలో c అక్షానికి, క్షితిజ సమాంతర స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలలో ఒక దానికి సమాంతరంగా ఉండి మిగిలిన రెండు క్షితిజ సమాంతరాక్షాలను ప్రమాణ దూరాలలో ఖండించే క్షితిజలంబ ముఖాలు ఆరు ఉంటాయి. ఈ ముఖాలు ఒకదానినొకటి ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 6 అంచులు ఒకే గుణానికి చెందుతాయి (పటం 6.45). ఇది ఒక వివృత రూపం. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం $(10\bar{1}0)$. ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు:

$$10\bar{1}0,\quad 01\bar{1}0,\quad \bar{1}100,\quad \bar{1}010,\quad 0\bar{1}10,\quad 1\bar{1}00,$$

ఈ రూపాన్ని మొదటి క్రమం షట్కోణ పట్టకం (Hexagonal Prism of First order) అని కూడా అంటారు.

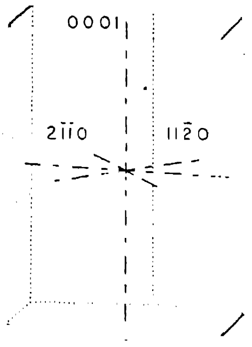


పటం 6.45 షట్కోణ పట్టకం $(10\bar{1}0)$, ఆధార ద్విపార్శ్వ్యక

షట్కోణ పట్టకం $(11\bar{2}0)$[Hexagonal Prism $(11\bar{2}0)$] : దీనిలో c- అక్షానికి సమాంతరంగా ఉండి, క్షితిజ సమాంతర స్ఫటికరేఖీయ అక్షాలలో ఒకదాన్ని ఒక ప్రమాణ దూరంలోను, మిగిలిన రెండు అక్షాలను రెండు ప్రమాణాల దూరాలలోను ఖండించే క్షితిజలంబ

ముఖాలు 6 ఉంటాయి. ఇవి పరస్పరం ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 6 అంచులు ఒకే గణానికి చెందుతాయి (పటం 6.46). ఇది ఒక వివృత రూపం. దీని మిల్లర్ చిహ్నం $(11\bar{2}0)$. ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$11\bar{2}0$, $\bar{1}2\bar{1}0$, $\bar{2}110$, $\bar{1}\bar{1}20$, $1\bar{2}10$, $2\bar{1}\bar{1}0$,



పటం 6.46 షట్కోణ పట్టకం $(11\bar{2}0)$, ఆధార ద్విపార్శ్వక

ఈరూపాన్ని రెండవక్రమం షట్కోణ పట్టకం (Hexagonal Prism of Second Order) అని కూడా అంటారు.

పైన వర్ణించిన రెండుపట్టకాలు జ్యామితీయంగా ఒకే విధంగా ఉంటాయి. వీటి స్థాననిర్దేశంలో తేడా ఉంటుంది. పట్టకం $(10\bar{1}0)$ లో క్షితిజ సమాంతర స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు ఎదురెదురు క్షితిజలంబ అంచుల మధ్య బిందువులను కలుపుతూ ఉంటాయి. పట్టకం $(11\bar{2}0)$లో అవి ఎదురెదురు క్షితిజలంబ ముఖాల మధ్య బిందువులను కలుపుతూ ఉంటాయి.

ద్విషట్కోణ పట్టకం (Dihexagonal Prism) : దీనిలో c-అక్షానికి సమాంతరంగా ఉండి క్షితిజ సమాంతర స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలను మూడింటినీ వేరు వేరు దూరాలలో ఖండించే 12 క్షితిజలంబ ముఖాలు ఉంటాయి. ఈ ముఖాలు ఒక దానినొకటి ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 12 అంచులు ఒకే గణానికి చెందుతాయి (పటం 6.47A). మధ్యఛేదం ఏకాంతరకోణాలు సమానంగా ఉన్న సమద్వాదశభుజి ఆకారంలో ఉంటుంది. ఇది ఒక వివృత రూపం. దీని మిల్లర్ చిహ్నం $(hk\bar{i}0)$. ఈ రూపంలో h+k విలువ i విలువకు సమానంగా ఉంటుంది. ఈ చిహ్నం గల రూపాలకు ఒక ఉదాహరణగా $(21\bar{3}0)$ రూపాన్ని చెప్పవచ్చు. ఈ రూపం ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$21\bar{3}0$, $12\bar{3}0$, $\bar{1}3\bar{2}0$, $\bar{2}3\bar{1}0$, $\bar{3}210$, $\bar{3}120$,

$\bar{2}\bar{1}30$, $\bar{1}\bar{2}30$, $1\bar{3}20$, $2\bar{3}10$, $3\bar{2}\bar{1}0$, $3\bar{1}\bar{2}0$,

పైన వర్ణించిన మూడు రకాల పట్టకాల సంబంధాలను పటం 6.47Bలో చూడవచ్చు.

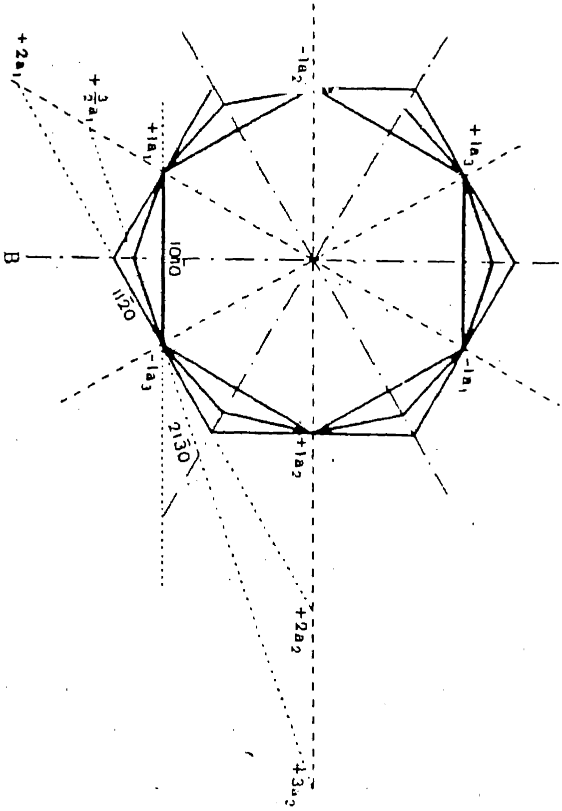
షట్కోణ ద్విసూచి $(h0\bar{h}l)$ [Hexagonal Bipyramid $(h0\bar{h}l)$] : ఈ రూపంలో 12 సమద్విబాహు త్రిభుజాకార ముఖాలు, 18 అంచులు, 8 మూలలు ఉంటాయి (పటం 6.48). అంచులలో 12 కడపటి అంచులు ఒక గణానికి, 6 పార్శ్వపు అంచులు మరొక గణానికి చెందుతాయి. ఆరేసి కడపటి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 2 మూలలు ఒకగణానికి,

రెండేసి కడపటి అంచులు, రెండేసి పార్శ్వపు అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 6 మూలలు మరొక గణానికి చెందుతాయి. ఇది ఒక సంవృత రూపం. దీనిలోని ముఖాలు రెండు క్షితిజ సమాంతరాక్షాలను సమాన దూరాలలో ఖండించి, మూడవ క్షితిజ సమాంతరాక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటూ, c-అక్షాన్ని కూడా ఖండిస్తాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం $(h0\bar{h}l)$. దీనిలో h,l విలువలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. $(10\bar{1}1)$, $(10\bar{1}2)$, $(20\bar{2}3)$ మొదలైన రూపాలు ఈ రీతికి చెందినవి. $(10\bar{1}1)$ చిహ్నంగల రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$10\bar{1}1,\quad 10\bar{1}\bar{1},\quad 01\bar{1}1,\quad 01\bar{1}\bar{1},\quad \bar{1}101,\quad \bar{1}10\bar{1},$$

$$\bar{1}011,\quad \bar{1}01\bar{1},\quad 0\bar{1}11,\quad 0\bar{1}1\bar{1},\quad 1\bar{1}01,\quad 1\bar{1}0\bar{1},$$

ఈరూపాన్ని మొదటిక్రమం షట్కోణ ద్విసూచి (Hexagonal Bipyramid of First Order) అని కూడా అంటారు.



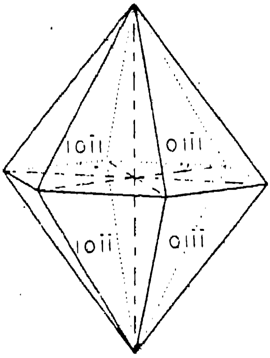
పటం 6.47 A ద్విషట్కోణ పట్టకం, ఆధార ద్విపార్శ్వక
B షట్కోణ పట్టకాల సంబంధం (క్షితిజ సమాంతర ఛేదంలో)

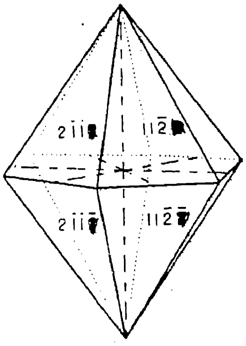
షట్కోణ ద్విసూచి (hh$\bar{2}$hl) [Hexagonal Bipyramid (hh$\bar{2}$hl) : ఈరూపం జ్యామితీయంగా పైన వర్ణించిన రూపాన్ని పోలి ఉంటుంది. దీనిలో కూడా 12 సమద్విబాహు త్రిభుజాకార ముఖాలు, 18 అంచులు, 8 మూలలు ఉంటాయి (పటం 6.49). ఇది కూడా సంవృత రూపమే. దీనిలోని ప్రతి ముఖం నాలుగు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను ఖండిస్తుంది. అయితే క్షితిజ సమాంతరాక్షాలలో ఒక దానిని ఒక ప్రమాణ దూరంలోను, మిగిలిన రెండింటిని రెండు ప్రమాణ దూరాలలోను, c-అక్షాన్ని సమాన లేదా అసమాన దూరాలలో ఖండించవచ్చు. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (hh$\bar{2}$hl). దీనిలో h,l ల విలువలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. $(11\bar{2}1)$, $(11\bar{2}2)$, $(22\bar{4}3)$ మొదలైన రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి. $(11\bar{2}1)$ రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$11\bar{2}1,\quad 11\bar{2}\bar{1},\quad \bar{1}2\bar{1}1,\quad \bar{1}2\bar{1}\bar{1},\quad \bar{2}111,\quad \bar{2}11\bar{1}$$

$$\bar{1}\bar{1}21,\quad \bar{1}\bar{1}2\bar{1},\quad 1\bar{2}11,\quad 1\bar{2}1\bar{1},\quad 2\bar{1}\bar{1}1,\quad 2\bar{1}\bar{1}\bar{1}$$

ఈరూపాన్ని రెండవక్రమం షట్కోణ ద్విసూచి (Hexagonal Bipyramid of Second Order) అని కూడా అంటారు.



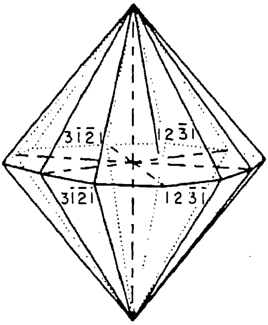


పటం 6.48 షట్కోణ ద్విసూచి $(10\bar{1}1)$ పటం 6.49 షట్కోణ ద్విసూచి $(11\bar{2}1)$

ద్విషట్కోణ ద్విసూచి (Dihexagonal Bipyramid) : ఈరూపంలో 24 సమద్విబాహు త్రిభుజాకార ముఖాలు, 36 అంచులు, 14 మూలలు ఉంటాయి (పటం 6.50). అంచులలో 12 కడపటి అంచులు ఒక గణానికి, మరో 12 కడపటి అంచులు మరొక గణానికి, 12 పార్శ్వపు అంచులు వేరొక గణానికి చెందుతాయి. పన్నెండేసి కడపటి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 2 మూలలు ఒక గణానికి చెందుతాయి. మొదటి గణానికి చెందిన రెండేసి కడపటి అంచులు, రెండేసి పార్శ్వపు అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 6 మూలలు ఒక గణానికి, రెండవ గణానికి చెందిన రెండేసి కడపటి అంచులు, రెండేసి పార్శ్వపు అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 6 మూలలు మరొక గణానికి చెందుతాయి. ఈ రూపం మధ్య ఛేదం ఏకాంతరకోణాలు సమానంగా ఉన్న సమద్వాదశభుజి ఆకారంలో ఉంటుంది. ఇది ఒక సంవృతరూపం. దీనిలో ముఖాలు నాలుగు స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలను ఖండిస్తాయి. ఈరూపం మిల్లర్ చిహ్నం (h'k $\bar{i}$ l).

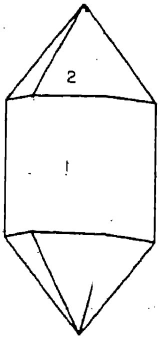
h విలువ k విలువ కంటె ఎక్కువగాను, h+k విలువ i విలువతో సమానంగాను ఉంటాయి. l విలువ h లేదా k లేదా i విలువలతో సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. $(21\bar{3}1)$,$(32\bar{5}2)$ మొదలైన రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి. $(21\bar{3}1)$ చిహ్నం గల రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$21\bar{3}1,\quad 21\bar{3}\bar{1},\quad 12\bar{3}1,\quad 12\bar{3}\bar{1},\quad \bar{1}3\bar{2}1,\quad \bar{1}3\bar{2}\bar{1},$$
$$\bar{2}3\bar{1}1,\quad \bar{2}3\bar{1}\bar{1},\quad \bar{3}211,\quad \bar{3}21\bar{1},\quad \bar{3}121,\quad \bar{3}12\bar{1},$$
$$\bar{2}\bar{1}31,\quad \bar{2}\bar{1}3\bar{1},\quad \bar{1}\bar{2}31,\quad \bar{1}\bar{2}3\bar{1},\quad 1\bar{3}21,\quad 1\bar{3}2\bar{1},$$
$$2\bar{3}11,\quad 2\bar{3}1\bar{1},\quad 3\bar{2}\bar{1}1,\quad 3\bar{2}\bar{1}\bar{1},\quad 3\bar{1}\bar{2}1,\quad 3\bar{1}\bar{2}\bar{1}.$$

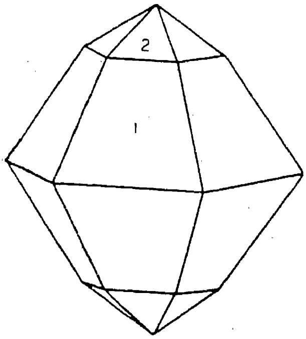


పటం 6.50 ద్విషట్కోణ ద్విసూచి

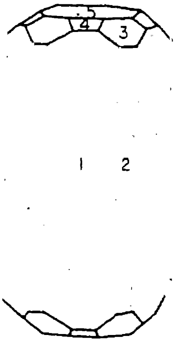
పైన వర్ణించిన పట్టకాల, ద్విసూచుల చిహ్నాలను వరసగా పోల్చి చూస్తే పట్టకాలలోని ముఖాలు c-అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటే ద్విసూచులలోని ముఖాలు c-అక్షాన్ని ఖండిస్తాయని తెలుస్తుంది. (hkil) చిహ్నంగల రూపం ఈ విభాగంలో తప్ప మరి ఏఇతర విభాగంలోను ఉండదు. ది ఈ విభాగంలోని సాధారణ రూపం. మిగిలిన ఆరురూపాలు విశిష్టరూపాలు. (0001), $0\bar{1}0$), $(11\bar{2}0)$ చిహ్నాలు గల రూపాలు అవధిరూపాలు. మిగిలిన నాలుగు రూపాలు ఆస్థిర రూపాలు. ఈ ఏడు సరళ రూపాలలో రెండు లేదా ఎక్కువ రూపాలు కలసి సంయోగ రూపాలుగా ఏర్పడవచ్చు. పటాలు 6.51, 6.52, 6.53 లలో కొన్ని సంయోగ రూపాలను చూడవచ్చు.



పటం 6.51 1-షట్కోణ పట్టకం $(10\bar{1}0)$ + 2 - షట్కోణ ద్విసూచి $(10\bar{1}1)$



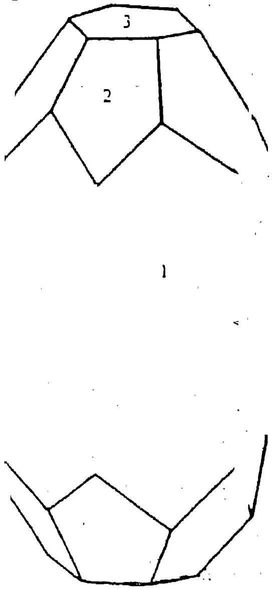
పటం 6.52 రెండు మొదటిక్రమం ద్విసూచులు (1,2)



పటం 6.53 1-షట్కోణ పట్టకం $(10\bar{1}0)$ +2-షట్కోణ పట్టకం $(11\bar{2}0)$ +3-షట్కోణ ద్విసూచి $(11\bar{2}1)$ + 4-షట్కోణ ద్విసూచి $(10\bar{1}1)$ + 5-ఆధార ద్విపార్శ్వక

ఖనిజ ఉదాహరణలు

షట్కోణ వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగం లేదా బెరిల్ రీతికి చెందిన రూపాలలో స్ఫటికీకరణ చెందే ఖనిజాలు చాలా తక్కువ. వీటిలో ముఖ్యమైనది బెరిల్. బెరిల్ ఖనిజం పట్టకం $(11\bar{2}0)$, ఆధారద్విపార్శ్వక (0001), ద్విసూచి $(10\bar{1}1)$ ల సంయోగ రూపాలలో స్ఫటికీకరణ చెందుతుంది (పటం 6.54). కోవెల్లైట్ అనే ఖనిజం ఆధార ద్విపార్శ్వక (0001), ద్విసూచి $(10\bar{1}1)$ ల సంయోగ రూపాలలో స్ఫటికీకరణ చెందుతుంది.



పటం 6.54 బెరిల్ స్ఫటికంలోని రూపాలు
1 - షట్కోణ పట్టకం $(11\bar{2}0)$, 2 - షట్కోణ ద్విసూచి $(10\bar{1}1)$,
3 - ఆధార ద్విపార్శ్వక (0001)

త్రికోణ వ్యవస్థ - నార్మల్ విభాగం

స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు

త్రికోణ వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటిక రూపాలను కూడా షట్కోణ వ్యవస్థలో మాదిరిగానే మూడు సమాన క్షితిజ సమాంతర స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలకు, ఒక అసమాన క్షితిజలంబ స్ఫటిక రేఖీయాక్షానికి అనుగుణంగా అధ్యయనం చేస్తారు. ఈ వ్యవస్థ అక్షకూటమి పటం 6.41 లో మాదిరిగానే ఉంటుంది. అక్షమూలకాలు కూడా అట్లాగే ఉంటాయి.

సౌష్ఠవమూలకాలు

త్రికోణ వ్యవస్థలోని 5 సౌష్ఠవ విభాగాలలో అత్యధిక సౌష్ఠవం గల విభాగం ద్వి-త్రికోణ విషమబాహు త్రిభుజ పార్శ్వీక విభాగం (Ditrigonal scalenohedral class). అందువల్ల దీనిని ఈ వ్యవస్థ పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగం లేదా నార్మల్ విభాగంగా పరిగణించవచ్చు. ఈ విభాగాన్ని కేల్సైట్ రీతి (calcite type) అని కూడా అంటారు. ఈ విభాగం సౌష్ఠవాన్ని ఈ విభాగానికి చెందిన ఒక లాక్షణిక రూపమైన సమచతుర్భుజ పార్శ్వీక (rhombohedron) (పటం 6.55) ను పరిశీలించి తెలుసుకోవచ్చు. ఈ రూపం ఏమూలాగా విరూపణ చేసిన షట్ పార్శ్వీకను పోలి ఉంటుంది. దీని ముఖాలు సమచతుర్భుజాకారంలో ఉంటాయి. ఈ రూపం స్థాన నిర్దేశాన్ని కూడా పటంలో చూడవచ్చు. దీనిలోని అక్షసమతలాలు సౌష్ఠవాన్ని చూపవు, కానిమూడు క్షితిజలంబ వికర్ణ సమతలాలు సౌష్ఠవ సమతలాలు. మూడు ముఖాల గురుకోణాలు కలవడం వల్ల ఏర్పడిన రెండు మూలలను కలిపే c-అక్షంపై రూపాన్ని భ్రమణం చేసినప్పుడు ఒక ముఖం పూర్తి భ్రమణంలో సర్వసమస్థానాలను మూడుసార్లు పొందుతుంది. కాబట్టి c-అక్షం త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం అవుతుంది. ఎదురెదురు పార్శ్వపు అంచుల మధ్య బిందువులను కలిపే మూడు క్షితిజ సమాంతర స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలపై భ్రమణం చేసినప్పుడు ఒక ముఖం పూర్తి భ్రమణంలో రెండు సార్లు సర్వసమస్థానాలను పొందుతుంది. కాబట్టి ఆ మూడు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు అవుతాయి (పటం 6.56). వీటితో బాటు సౌష్ఠవ కేంద్రం కూడా ఉంటుంది. కేల్సైట్‌రీతిలోని సౌష్ఠవ మూలకాలను కింద క్లుప్తంగా ఇచ్చాము.

3 సౌష్ఠవ క్షితిజలంబ వికర్ణ సమతలాలు (3 Vert. Diag.P.)

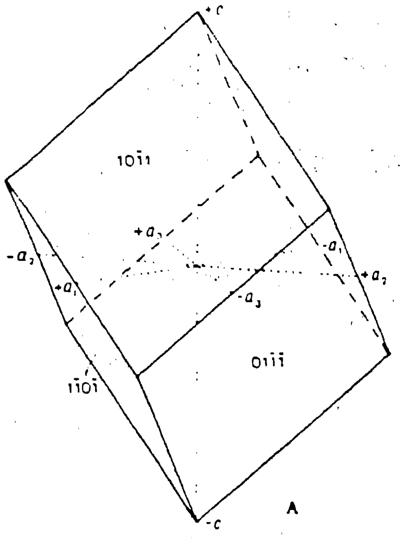
1 త్రిరావృత్త సౌష్ఠవ క్షితిజ లంబ స్ఫటిక రేఖీయాక్షం (c^{III})

3 ద్విరావృత్త సౌష్ఠవ క్షితిజ సమాంతర స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు (3 Hor.xl.Ax^{II})

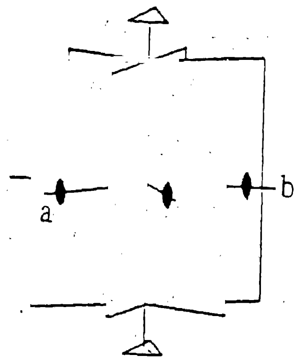
సౌష్ఠవ కేంద్రం (C)

సరళ రూపాలు

కేల్సైట్ రీతిలో 7 సరళరూపాలు ఉంటాయి. వీటిలో (0001). $(10\bar{1}0)$, $(11\bar{2}0)$, $(21\bar{3}0)$, $(11\bar{2}1)$ చిహ్నాలు గల అయిదు రూపాలు జ్యామితీయంగా బెరిల్ రీతిలో అవే చిహ్నాలు గల రూపాలను పోలి ఉంటాయి. పేర్లుకూడా అవే ఉంటాయి. అయితే వీటి నిర్మితీయ సౌష్ఠవం (structural symmetry) తక్కువ స్థాయికి చెంది ఉంటుంది. $(10\bar{1}1)$, $(21\bar{3}1)$ చిహ్నాలు గల మిగిలిన రెండు రూపాలను మాత్రమే కింద వర్ణించాము. ఈ రెండు రూపాలు సంవృతరూపాలే.



పటం 6.55 సమచతుర్భుజ పార్శ్వక



పటం 6.56 త్రికోణ వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవ మూలకాలు

సమచతుర్భుజపార్శ్వక (Rhombohedron) : ఈరూపంలో 6 సమచతుర్భుజాకార (rhomb shaped) ముఖాలు, 12 అంచులు, 8 మూలలు ఉంటాయి. రూపంలో ఎగువన మూడు ముఖాలు, దిగువన మూడు ముఖాలు ఉంటాయి. ప్రతి ఎగువ ముఖానికి కింద ఒక అంచు ఉంటుంది. ప్రతి ఎగువ అంచుకు కింద ఒక ముఖం ఉంటుంది. అంచులలో 6 కడపటి అంచులు ఒక గణానికి, 6 పార్శ్వపు అంచులు మరొక గణానికి చెందుతాయి. 6 పార్శ్వపు అంచులు రూపానికి చుట్టూ ఎగుడుదిగుడు (zig-zag) గా అమరి ఉంటాయి. మూడేసి కడపటి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే రెండు మూలలు ఒక గణానికి, రేండేసి పార్శ్వపు అంచులు ఒక కడపటి అంచు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 6 మూలలు మరొక గణానికి చెందుతాయి. ప్రతి ముఖం c-అక్షాన్ని, రెండు క్షితిజ సమాంతర అక్షాలను సమాన దూరాలలో ఖండించి మూడవ క్షితిజ సమాంతరాక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం $(h\ o\ \bar{h}\ l)$ దీనిలో h,l ల విలువలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. అక్షాలను ప్రమాణ దూరాలలో ఖండించే ముఖాలు గల రూపం చిహ్నం $(10\bar{1}1)$ అవుతుంది. $(10\bar{1}2)$, $(02\bar{2}3)$, $(20\bar{2}1)$,$(30\bar{3}2)$ మొదలైన చిహ్నాలు గల సమచతుర్భుజ పార్శ్వకలు ఎన్నైనా ఉండవచ్చు.

షట్కోణ వ్యవస్థలోని నార్మల్ విభాగంలో $(ho\bar{h}l)$ లేదా $(10\bar{1}1)$ మొదలైన చిహ్నాలు గల రూపాలను మొదటిక్రమం షట్కోణ ద్విసూచులు అంటారు. ఈ రూపాలలో 12 ముఖాలు ఉంటాయి. అయితే కేల్సైట్‌రీతిలోని తక్కువస్థాయి సౌష్ఠవం కారణంగా ఈ రీతిలోని $(ho\bar{h}l)$ రూపంలో 12 ముఖాలకు బదులు 6 ముఖాలే ఉంటాయి. మొదటిక్రమం షట్కోణ ద్విసూచిలోని ఏకాంతర సెక్టెంట్‌ల (sectants) లోని ఆరు ముఖాలు వృద్ధి చెందడం వల్ల ఒక సమచతుర్భుజ పార్శ్వక ఏర్పడుతుంది. ఈ విధంగా మొదటిక్రమం షట్కోణ ద్విసూచిలోని 12 ముఖాలు రెండు సమచతుర్భుజ పార్శ్వకలను రూపొందిస్తాయి. ఈ రెండు రూపాలు

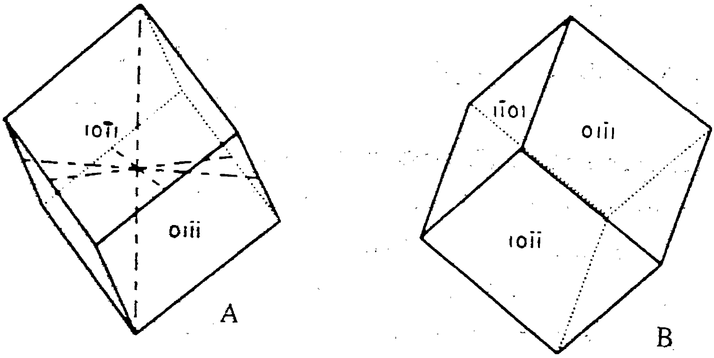
జ్యామితీయంగా ఒకే రకంగా ఉంటాయి. రూపాన్ని సరిగా స్థాననిర్దేశం చేసినప్పుడు ఎగువన ముఖంగల రూపాన్ని ధన సమచతుర్భుజ పార్శ్వక (positive rhombohedron), ఎగువన అంచుగల రూపాన్ని ఋణ సమచతుర్భుజ పార్శ్వక (negative rhombohedron) అని అంటారు (పటం 6.57). $(10\bar{1}1)$ చిహ్నం గల ధనరూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$10\bar{1}1,\quad 10\bar{1}\bar{1},\quad \bar{1}101,\quad \bar{1}10\bar{1},\quad 0\bar{1}11,\quad 0\bar{1}1\bar{1},$$

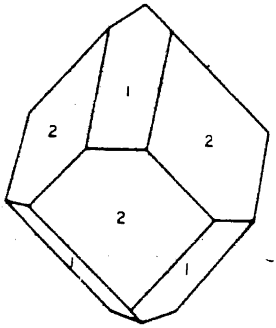
$(01\bar{1}1)$ చిహ్నంగల ఋణరూపం ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$01\bar{1}1,\quad 01\bar{1}\bar{1},\quad \bar{1}011,\quad \bar{1}01\bar{1},\quad 1\bar{1}01,\quad 1\bar{1}0\bar{1},$$

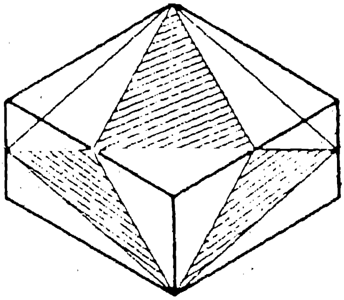
ఈ రెండు రూపాల సంయోగరూపాన్ని పటం 6.58 లో చూడవచ్చు. మొదటిక్రమం షట్కోణ ద్విసూచికి, ధన సమచతుర్భుజ పార్శ్వకకు ఉన్న సంబంధాన్ని పటం 6.59 లో చూడవచ్చు.



పటం 6.57 A ధన సమచతుర్భుజ పార్శ్వక
B ఋణ సమచతుర్భుజ పార్శ్వక



పటం 6.58 1 – ధన, **2** – ఋణ సమచతుర్భుజ పార్శ్వకల సంయోగరూపం

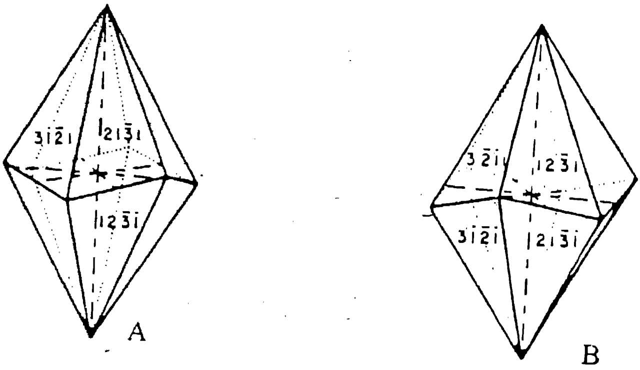


పటం 6.59 మొదటిక్రమం షట్కోణ ద్విసూచికి, ధన సమచతుర్భుజ పార్శ్వికకు మధ్య సంబంధం

ఈ రూపాల చిహ్నంలోని l విలువ h విలువ కన్న తక్కువగా ఉన్నప్పుడు [ఉదా $(20\bar{2}1)$, $(30\bar{3}2)$ మొదలైన రూపాలు] ఆ రూపాలను ప్రమాణ రూపం $(10\bar{1}1)$ తో పోలిస్తే అవి పైకి కిందికి సాగి ఉంటాయి. l విలువ h విలువకన్న ఎక్కువగా ఉన్నప్పుడు [ఉదా $(10\bar{1}2)$, $(02\bar{2}3)$ మొదలైన రూపాలు] ఆ రూపాలు ప్రమాణ రూపం కన్న చదునుగా ఉంటాయి.

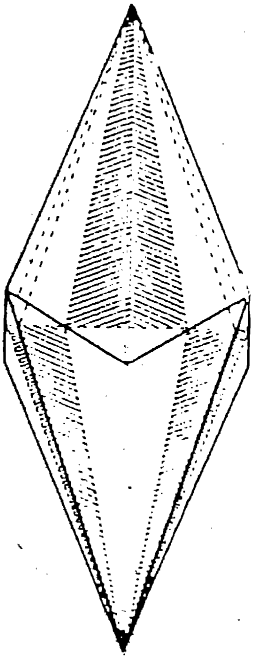
ద్వి- త్రికోణ విషమబాహుత్రిభుజ పార్శ్విక (Ditrigonal Scalenohedron) : ఈ రూపంలో 12 విషమబాహు త్రిభుజాకార (scalene triangular) ముఖాలు, 18 అంచులు, 8 మూలలు ఉంటాయి. అంచులలో 6 పార్శ్వపు అంచులు ఒక గణానికి చెందుతాయి. ఇవి రూపం చుట్టూ ఎగుడు దిగుడుగా అమరి ఉంటాయి. మిగిలిన 12 అంచులు కడపటి అంచులు. వీటిలో 6 పొడవు అంచులు ఒకగణానికి , 6 పొట్టి అంచులు మరొక గణానికి చెందుతాయి. పై ఆరు కడపటి అంచులు, కింది ఆరు కడపటి అంచులు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే 2 మూలలు ఒక గణానికి, రెండేసి పార్శ్వపు అంచులు, ఒక పొడుగు అంచు, ఒక పొట్టి అంచు ఖండించుకోవడం వల్ల ఏర్పడే ఆరు మూలలు మరొకగణానికి చెందుతాయి. ప్రతి ముఖం అన్ని స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను ఖండిస్తుంది. ఈరూపం మిల్లర్ చిహ్నం $(h\,k\,\bar{i}\,l)$. h విలువ k విలువకంటె ఎక్కువగాను, h+k విలువ i విలువతో సమానంగాను ఉంటాయి. l విలువ h లేదా k లేదా i విలువలకు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. $(21\bar{3}1)$,$(32\bar{5}2)$ మొదలైన చిహ్నాలుగల రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి.

షట్కోణ వ్యవస్థలోని నార్మల్ విభాగానికి చెందిన $(hk\bar{i}l)$ చిహ్నంగల రూపాన్ని ద్విషట్కోణ ద్విసూచి అంటారు. దీనిలో 24 ముఖాలు ఉంటాయి. కాని కేల్సైట్ రీతికి చెందిన $(hk\bar{i}l)$ రూపంలో 12 ముఖాలే ఉంటాయి. కేల్సైట్ రీతిలోని తక్కువస్థాయి సౌష్ఠవం దీనికి కారణం. పైన వర్ణించిన సమచతుర్భుజ పార్శ్వికల మాదిరిగానే, ద్వి- త్రికోణ విషమబాహుత్రిభుజ పార్శ్వికలు కూడా రెండు ఉంటాయి. ద్విషట్కోణ ద్విసూచిలోని ఏకాంతర సెక్స్టెంట్‌లలోని 12 ముఖాలు వృద్ధి చెందటం వల్ల ధనరూపం, మిగిలిన 12 ముఖాలు వృద్ధి చెందడం వల్ల ఋణరూపం ఏర్పడుతాయి. ఈ రూపాలను పటం 6.60 లో చూడవచ్చు. ధన రూపానికి, ద్విషట్కోణ ద్విసూచికి ఉన్న సంబంధాన్ని పటం 6.61 లో చూడవచ్చు.



పటం 6.60 ద్విత్రికోణ విషమబాహుత్రిభుజ పార్శ్వికలు

A ధన రూపం; B ఋణ రూపం



పటం 6.61 ద్విషట్కోణ ద్విసూచి, ధన ద్వి-త్రికోణ విషమబాహుత్రిభుజ పార్శ్వికల మధ్య సంబంధం

$(21\bar{3}1)$ చిహ్నంగల ధనరూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$21\bar{3}1$, $12\bar{3}\bar{1}$, $\bar{1}3\bar{2}\bar{1}$, $\bar{2}3\bar{1}1$, $\bar{3}211$, $\bar{3}12\bar{1}$,
$\bar{2}\bar{1}3\bar{2}$, $\bar{1}\bar{2}31$, $1\bar{3}21$, $2\bar{3}1\bar{1}$, $3\bar{2}\bar{1}\bar{1}$, $3\bar{1}\bar{2}1$,

$(12\bar{3}1)$ చిహ్నంగల ఋణరూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$21\bar{3}\bar{1}$, $12\bar{3}1$, $\bar{1}3\bar{2}1$, $\bar{2}3\bar{1}\bar{1}$, $\bar{3}21\bar{1}$, $\bar{3}121$,
$\bar{2}\bar{1}31$, $\bar{1}\bar{2}3\bar{1}$, $1\bar{3}21$, $2\bar{3}11$, $3\bar{2}\bar{1}1$, $3\bar{1}\bar{2}\bar{1}$,

ద్విత్రికోణ విషమబాహుత్రిభుజపార్శ్వక ఈ విభాగంలోని సాధారణ రూపం. మిగిలిన రూపాలు విశిష్టరూపాలు.

బెరిల్ రీతిలో మాదిరిగానే (0001), (10$\bar{1}$0), (11$\bar{2}$0) చిహ్నాలు గల రూపాలు అవధిరూపాలు. మిగిలినవి అస్థిర రూపాలు. కేల్సైట్ రీతికి చెందిన కొన్ని సంయోగరూపాలను ఖనిజ ఉదాహరణలలో చూడవచ్చు.

ఖనిజ ఉదాహరణలు

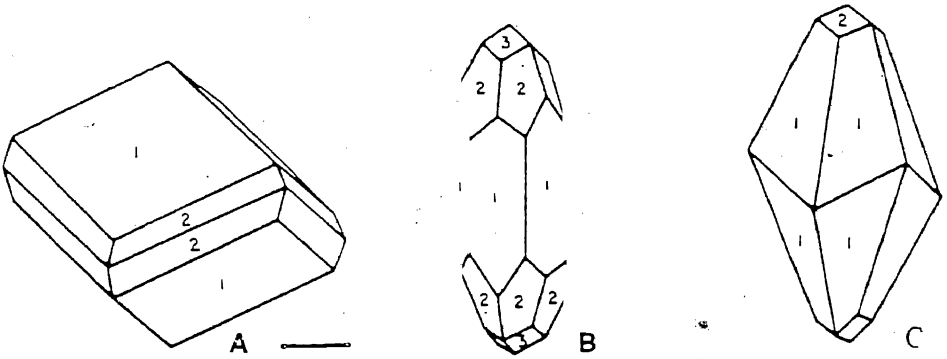
కేల్సైట్ రీతికి చెందిన రూపాలలో స్ఫటికీకరణ చెందే ఖనిజాలలో ముఖ్యమైన వాటిని కిందచూడవచ్చు.

కేల్సైట్ : సమచతుర్భుజ పార్శ్వక;
పట్టకాలు, సమచతుర్భుజ పార్శ్వకలు, ద్విత్రికోణ విషమబాహు త్రిభుజ పార్శ్వకల సంయోగరూపాలు (పటాలు 6.62, 6.63). కేల్సైట్ స్ఫటికాలలో కనిపించే రూపవైవిధ్యం మరి ఏ ఇతర ఖనిజ స్ఫటికాలలోను కనిపించదు.

సైడరైట్ : సమచతుర్భుజ పార్శ్వక

హెమటైట్: ఆధారద్విపార్శ్వక + సమచతుర్భుజ పార్శ్వక;
ఆధారద్విపార్శ్వక + సమచతుర్భుజ పార్శ్వక + పట్టకం (11$\bar{2}$0) (పటం 6.64)

కొరండమ్: ఆధారద్విపార్శ్వక + ఋణ సమచతుర్భుజ పార్శ్వక + మూడు రెండవక్రమం ద్విసూచులు (పటం 6.65)

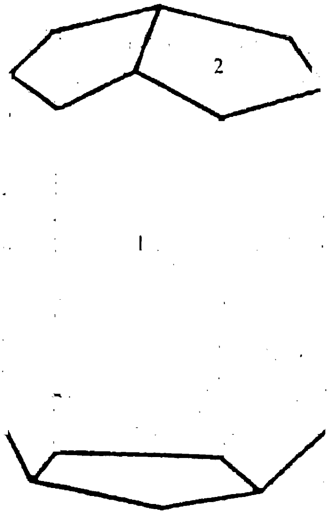


పటం 6.62 కేల్సైట్ స్ఫటికాలలోని రూపాలు

A 1 – ధన సమచతుర్భుజ పార్శ్వక + 2 – ధన ద్విత్రికోణ విషమబాహుత్రిభుజ పార్శ్వక

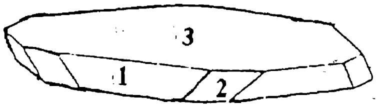
B. 1 – మొదటిక్రమం పట్టకం + 2 – ధన ద్వి త్రికోణ విషమబాహుత్రిభుజ పార్శ్వక + 3 – ధన సమచతుర్భుజ పార్శ్వక

C. 1 – ధన ద్విత్రికోణ విషమబాహుత్రిభుజ పార్శ్వక + 2 – ధన సమచతుర్భుజ పార్శ్వక



పటం 6.63 కేల్సైట్ స్ఫటికంలోని రూపాలు

1 - పట్టకం $(10\bar{1}0)$, 2 - ఋణ సమచతుర్భుజ పార్శ్వ్యక $(01\bar{1}$

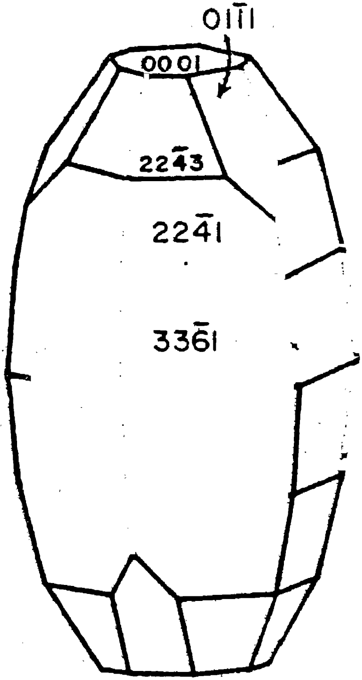


పటం 6.64 హెమటైట్ స్ఫటికంలోని రూపాలు

1 - ధన సమచతుర్భుజ పార్శ్వ్యక $(10\bar{1}1)$

2 - పట్టకం $(11\bar{2}0)$

3 - ఆధార ద్విపార్శ్వ్యక (0001)



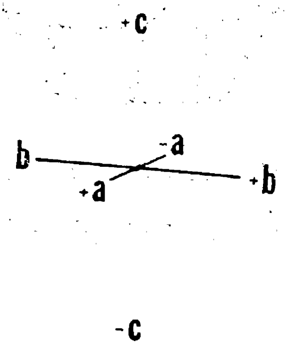
పటం **6.65** కొరండమ్ స్ఫటికంలోని రూపాలు

ఆధార ద్విపార్శ్వక, ఋణ సమచతుర్భుజ పార్శ్వక, మూడు రెండవక్రమం ద్విసూచులు

విషమాక్ష వ్యవస్థ - నార్మల్ విభాగం

స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు

ఒక దానికొకటి లంబంగా ఉన్న మూడు అసమాన స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలకు అనుగుణంగా అధ్యయనం చేసే స్ఫటికాలు విషమాక్ష వ్యవస్థకు చెందుతాయి. ఈ అక్షాలను a,b,c అక్షాలుగా గుర్తిస్తారు. స్ఫటికాన్ని సరిగా స్థాననిర్దేశం చేసినప్పుడు c-అక్షం క్షితిజలంబంగాను, a-అక్షం ముందు నుంచి వెనుకకు, b-అక్షం కుడినుంచి ఎడమకు ఉంటాయి. ధన సంజ్ఞలను చూపే a-అక్షంకొన పరిశీలకుని వైపున, b- అక్షంకొన పరిశీలకుని కుడివైపున, c- అక్షంకొన పైవైపున ఉంటాయి. c-అక్షం క్షితిలజంబాక్షం, a,b-అక్షాలు క్షితిజ సమాంతరాక్షాలు. సాధారణంగా a-అక్షం b-అక్షంకన్న చిన్నదిగా ఉండటం వల్ల a-అక్షాన్ని హ్రస్వాక్షం (brachy-axis) అనీ, b-అక్షాన్ని దీర్ఘాక్షం (macro-axis) అనీ మొదట్లో అనేవారు. కాని కొన్ని విషమాక్ష స్ఫటికాలలో a-అక్షం b-అక్షంకన్న పొడవుగా ఉన్నట్లు గమనించడం వల్ల ప్రస్తుతం ఈ పేర్లను వాడటం లేదు. ఈ వ్యవస్థ అక్షకూటమిని పటం 6.66లో చూడవచ్చు. అక్షమూలకాలను $a \neq b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^0$ గా వ్రాయవచ్చు.



పటం 6.66 విషమాక్ష వ్యవస్థ అక్షకూటమి

సౌష్ఠవమూలకాలు

విషమాక్ష వ్యవస్థకు చెందిన పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగం లేదా నార్మల్ విభాగాన్ని ద్వి-ద్వికోణ ద్విసూచి విభాగం (Rhombic or orthorhombic bipyramidal class) అని లేదా బెరైటిస్ రీతి (Barytes type) అని అంటారు. ఈవిభాగం సౌష్ఠవ మూలకాలను ఇటుక లేదా అగ్గిపెట్టె వంటి రూపం ఆధారంగా అర్థంచేసుకోవచ్చు. ఇటువంటి రూపంలో స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు ఎదురెదురు ముఖాల మధ్యబిందువులను కలుపుతూ ఉంటాయి. దీనిలో మూడు అక్షసమతలాలు సౌష్ఠవ సమతలాలు (పటం 6.67). వికర్ణ సమతలాలు సౌష్ఠవాన్ని చూపవు. రూపాన్ని స్ఫటికరేఖీయాక్షాలపై భ్రమణం చేసినప్పుడు ఒక ముఖం ప్రతి పూర్తి భ్రమణంలో రెండుసార్లు మాత్రమే సర్వసమస్థానాలను పొందుతుంది. అందువల్ల మూడు స్ఫటికరేఖీయాక్షాలు ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు (పటం 6.68). ఎదురెదురు మూలలను, ఎదురెదురు అంచుల మధ్య బిందువులను కలిపే అక్షాలు సౌష్ఠవాక్షాలు కావు. సదృశ ముఖాలు, అంచులు, మూలలు కేంద్ర

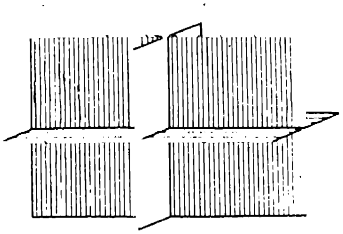
బిందువుకు అటూ ఇటూ వ్యాస రేఖీయంగా అమరి ఉంటాయి కాబట్టి రూపంలో సౌష్ఠవ కేంద్ర ముంటుంది. ఈ విభాగం సౌష్ఠవ మూలకాలను క్లుప్తంగా కింది విధంగా రాయవచ్చు.

3 సౌష్ఠవ అక్షసమతలాలు (3 Ax.P.)

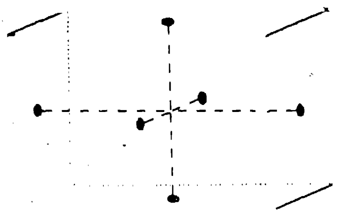
3 ద్విరావృత్త సౌష్ఠవ స్ఫటిక రేకీయాక్షాలు (3xl.Ax''.)

సౌష్ఠవ కేంద్రం (C)

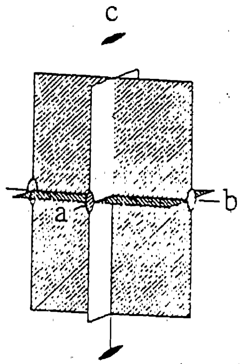
ఒక్కొక్క సౌష్ఠవ సమతలం ఒక్కొక్క సౌష్ఠవాక్షానికి లంబంగా ఉంటుంది (పటం 6.69).



పటం 6.67 విషమాక్షవ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవ సమతలాలు



పటం 6.68 విషమాక్ష వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవాక్షాలు



పటం 6.69 విషమాక్ష వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవ మూలకాల సంబంధం

సరళ రూపాలు

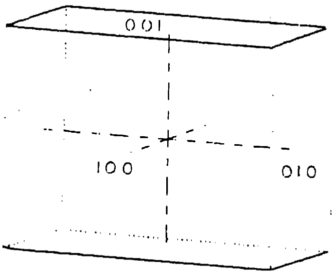
విషమాక్ష వ్యవస్థలోని నార్మల్ విభాగంలో ఏడు సరళరూపాలు ఉంటాయి. వీటిని కింద వర్ణించాము. ఈ రూపాలలో మొదటి ఆరు రూపాలు, అంటే ద్విపార్శ్వికలు, పట్టకాలు వివృత రూపాలు. ఏడవ రూపం మాత్రమే సంవృత రూపం.

ఆధార ద్విపార్శ్వికా **(Basal pinacoid)** లేదా **c-** ద్విపార్శ్వికా **(c-pinacoid) :** ఈ రూపంలో c-అక్షాన్ని ఖండిస్తూ, a,b అక్షాలకు సమాంతరంగా ఉండే రెండు ముఖాలు ఉంటాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (001). ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు : 001, $00\bar{1}$ (పటం 6.70).

లలాట ద్విపార్శ్వక (Front pinacoid) లేదా a- ద్విపార్శ్వక (a-pinacoid) : ఈరూపంలో a-అక్షాన్ని ఖండిస్తూ b,c అక్షాలకు సమాంతరంగా ఉండే ముఖాలు రెండు ఉంటాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (100) (పటం 6.70). ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు: 100, $\bar{1}$00. ఈ రూపాన్ని దీర్ఘద్విపార్శ్వక (macropinacoid) అనేవారు.

పార్శ్వద్విపార్శ్వక (side pinacoid) లేదా b- ద్విపార్శ్వక (b-pinacoid) : ఈరూపంలో b-అక్షాన్ని ఖండిస్తూ, a,c అక్షాలకు సమాంతరంగా ఉండే ముఖాలు రెండు ఉంటాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (010). ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు 010, 0$\bar{1}$0 (పటం 6.70). ఈ రూపాన్ని హ్రస్వద్విపార్శ్వక (brachy pinacoid) అనేవారు.

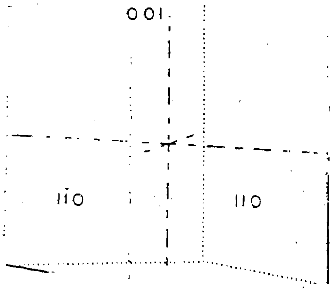
స్థాన నిర్దేశంలో మార్పులు చేసి పై ద్విపార్శ్వకలలో ఒక రూపాన్ని మరొక రూపంగా మార్పు చేయవచ్చు.



పటం 6.70 ఆధార, లలాట, పార్శ్వ ద్విపార్శ్వకలు

పట్టకం (hko)[(Prism)(hko)] : ఈ రూపంలో a,b అక్షాలను ఖండిస్తూ, c అక్షానికి సమాంతరంగా ఉండే నాలుగు ముఖాలు ఉంటాయి. దీని మధ్యచ్ఛేదం సమచతుర్భుజాకారంలో ఉంటుంది. a,b అక్షాలపై అంతర్ ఖండనాలు సమానంగా ఉండవచ్చు లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. అంటే h,k ల విలువలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. రెండు అక్షాలను ప్రమాణ దూరాలలో ఖండించే ముఖాలు గల రూపం చిహ్నం (110) అవుతుంది. (210),(120),(320) మొదలైన రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి. (110) చిహ్నం గల రూపం (పటం 6.71)లోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

110. 1$\bar{1}$0. $\bar{1}\bar{1}$0, $\bar{1}$10

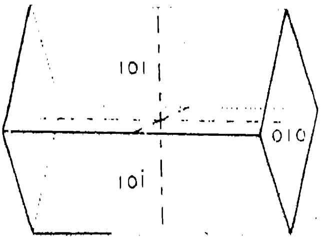


పటం 6.71 పట్టకం (110) + ఆధార ద్విపార్శ్వక

ఈరూపాన్ని మూడవక్రమం పట్టకం (Prism of Third order) లేదా మూడవక్రమం ద్వి-ద్వికోణ పట్టకం (Rhombic prism of Third order) అని కూడా అంటారు.

పట్టకం (hol)[Prism (hol)] : ఈ రూపంలో a,c అక్షాలను ఖండిస్తూ, b అక్షానికి సమాంతరంగా ఉండే ముఖాలు నాలుగు ఉంటాయి. ఈ రూపం మధ్యఛేదం సమచతుర్భుజాకారంలో ఉంటుంది. a,c అక్షాలపై అంతర్ ఖండనాలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. అంటే h, l ల విలువలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. రెండు అక్షాలను ప్రమాణ దూరాలలో ఖండించే రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (101) అవుతుంది. (201), (203), (103) మొదలైన చిహ్నాలు గల రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి. (101) చిహ్నంగల రూపం (పటం 6.72) లోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$101,\ 10\bar{1},\ \bar{1}01,\ \bar{1}0\bar{1},$$

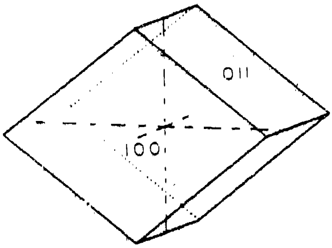


పటం 6.72 పట్టకం (101) + పార్శ్వద్విపార్శ్వికం

ఈ రూపాన్ని రెండవక్రమం పట్టకం (Prism of second order) లేదా రెండవక్రమం ద్వి-ద్వికోణ పట్టకం (Rhombic Prism of second order) అని కూడా అంటారు. దీనిని దీర్ఘకలశం (macrodome) అనేవారు.

పట్టకం (okl)[Prism) (okl)] : ఈ రూపంలో b,c అక్షాలను ఖండిస్తూ, a అక్షానికి సమాంతరంగా ఉండే ముఖాలు నాలుగు ఉంటాయి. ఈరూపం మధ్య ఛేదం సమచతుర్భుజాకారంలో ఉంటుంది. b,c అక్షాలపై అంతర్ ఖండనాలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. అంటే k,l ల విలువలు సమానంగా గాని, అసమానంగా గాని ఉండవచ్చు. రెండు అక్షాలను ప్రమాణ దూరాలలో ఖండించే రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (011) అవుతుంది. (012), (023), (031) మొదలైన చిహ్నాలు గల రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి. (011) చిహ్నంగల రూపం (పటం 6.73) లోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$011,\ 01\bar{1},\ 0\bar{1}1,\ 0\bar{1}\bar{1},$$



పటం 6.73 పట్టకం (011) + లలాట ద్విపార్శ్వికం

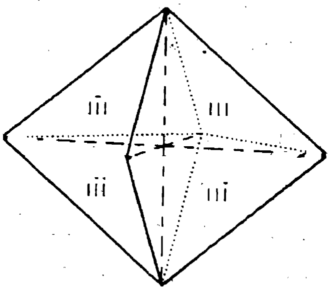
ఈరూపాన్ని మొదటిక్రమం పట్టకం (Prism of first order) లేదా మొదటిక్రమం ద్వి-ద్వికోణ పట్టకం (Rhombic prism of first order) అని కూడా అంటారు. దీని హ్రస్వకలశం (brachy dome) అని అనేవారు.

స్థాన నిర్దేశంలో మార్పులు చేసి పై పట్టకాలలో ఒక రూపాన్ని మరొక రూపంగా మార్చవచ్చు.

ద్విసూచి (Bipyramid) : ఈరూపంలో మూడు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలను సమాన లేదా అసమాన దూరాలలో ఖండించే విషమ బాహు త్రిభుజాకార ముఖాలు 8 ఉంటాయి. దీని మధ్య ఛేదం సమచతుర్భుజాకారంలో ఉంటుంది. దీనిలో 12 అంచులు, 6 మూలలు ఉంటాయి. అంచులలో 4 కడపటి అంచులు ఒక గణానికి, మరో 4 కడపటి అంచులు మరొక గణానికి, 4 పార్శ్వపు అంచులు వేరొక గణానికి చెందుతాయి. ఒక్కొక్క గణంలో 2 ఎదురెదురు మూలలు ఉండే 3 గణాల మూలలను గుర్తించవచ్చు. స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు ఈ మూడు గణాల మూలల ద్వారా పోతూ ఉంటాయి. ఈ రూపం చిహ్నం (hkl). h,k,l ల విలువలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. ప్రమాణ ద్విసూచి మిల్లర్ చిహ్నం (111) అవుతుంది (పటం 6.74). (112), (213), (123) మొదలైన చిహ్నాలు గల రూపాలు ఈ రీతికి చెందినవి. (111) చిహ్నం గల రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$1\,1\,1,\quad 1\,1\,\bar{1},\quad \bar{1}\,1\,1,\quad \bar{1}\,1\,\bar{1},$$

$$\bar{1}\,\bar{1}\,1,\quad \bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1},\quad 1\,\bar{1}\,1,\quad 1\,\bar{1}\,\bar{1},$$



పటం 6.74 ద్విసూచి

ఈరూపాన్ని ద్వి-ద్వికోణ ద్విసూచి (Rhombic Bipyramid) అని కూడా అంటారు. ఇది ఈ విభాగంలోని సాధారణ రూపం. మిగిలిన ఆరురూపాలు విశిష్టరూపాలు. (100), (010), (001) చిహ్నాలు గల రూపాలు అవధిరూపాలు. మిగిలిన నాలుగు రూపాలు అస్థిర రూపాలు.

పైన వర్ణించిన సరళ రూపాలకు చెందిన కొన్ని సంయోగరూపాలను ఖనిజ ఉదాహరణలలో ఇచ్చాము.

ఖనిజ ఉదాహరణలు

తరచుగా ప్రస్తావించబడే ఖనిజాలలో చాలా ఖనిజాలు బెరైటిస్ రీతిలో స్ఫటికీకరణ చెందుతాయి. వాటిలో కొన్ని ముఖ్యమైన ఖనిజాలను, వాటి రూపాలను కింద పేర్కొన్నాము.

బెరైటిస్ : i. పట్టకం (110)+ ఆధారద్విపార్శ్వ్యక (పటం 6.75)
ii. పట్టకం (110)+పట్టకం (102) (పటం 6.76)
iii. పట్టకం (110)+పట్టకం (102) +పట్టకం (011) + ఆధారద్విపార్శ్వ్యక (పటం 6.77)
iv. పట్టకం (011)+పట్టకం (101) + ఆధారద్విపార్శ్వ్యక (పటం 6.78)
v. పట్టకాలు (110), (101), (011) + ఆధార ద్విపార్శ్వ్యక (పటం 6.79)

సల్ఫర్ : i. ద్విసూచి (111) (పటం 6.80A)
ii. ద్విసూచులు (111), (113) ల సంయోగ రూపం (పటం 6.80 B)
iii. ఆధారద్విపార్శ్వ్యక + ద్విసూచులు (111), (113) + పట్టకం (011) (పటం 6.80C)

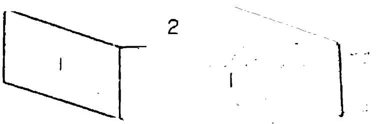
టోపజ్ : పట్టకం (110)+పట్టకం (120)+ ద్విసూచి (111) (పటం 6.81)

స్టారొలైట్ : ఆధారద్విపార్శ్వ్యక + పార్శ్వద్విపార్శ్వక + పట్టకం (110)+పట్టకం (101) (పటం 6.82)

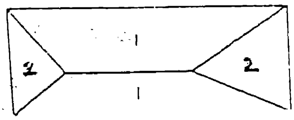
ఆండలుసైట్ : ఆధార ద్విపార్శ్వ్యక +పట్టకం (110)+ పట్టకం (011) (పటం 6.83)

ఆలివీన్ : ఏడుసరళ రూపాల సంయోగ రూపం (పటం 6.84)

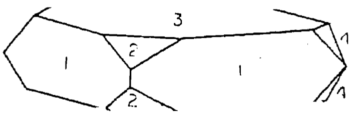
బెరైటిస్ స్ఫటికాలలోని రూపాలు



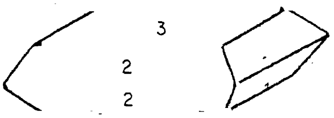
పటం 6.75
1-పట్టకం (110)+ 2-ఆధార ద్విపార్శ్వ్యక



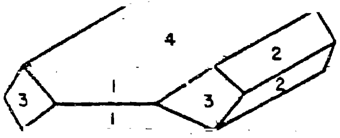
పటం 6.76
1-పట్టకం (102)+ 2-పట్టకం (110)



పటం 6.77
1-పట్టకం (110) + 2-పట్టకం (102) + 3-ఆధార ద్విపార్శ్వ్యక + 4-పట్టకం (011)

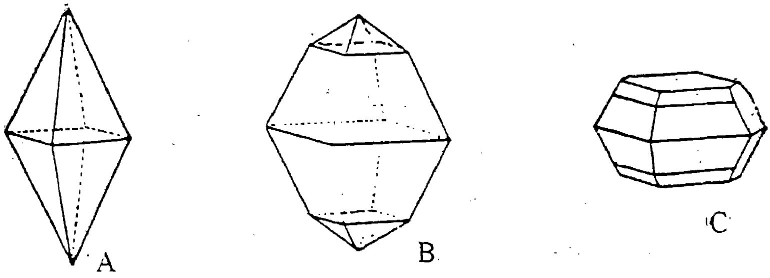


పటం 6.78
1-పట్టకం (011) + 2-పట్టకం (101) + 3-ఆధార ద్విపార్శ్వ్యక

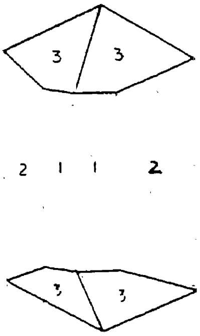


పటం 6.79

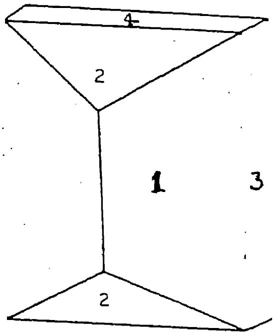
1 - పట్టకం (101) + 2 - పట్టకం (011)
+3 - పట్టకం (110)+4 - ఆధారద్విపార్శ్వక



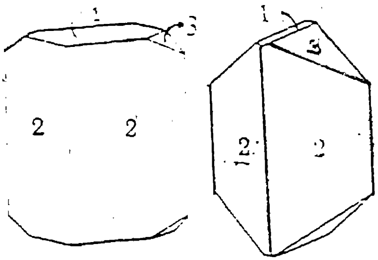
పటం 6.80 సల్ఫర్ స్ఫటికాలలోని రూపాలు (రూపాలను పాఠ్య భాగంలో ఇచ్చాము)



పటం 6.81 టోపజ్ స్ఫటికంలోని రూపాలు
1-, 2 - పట్టకాలు (hko), 3 - ద్విసూచి



పటం 6.82 స్టారొలైట్ స్ఫటికంలోని రూపాలు
1 - పట్టకం (hko)+ 2 - పట్టకం (hol)+ 3 - పార్శ్వ ద్విపార్శ్వక
+ 4 - ఆధార ద్విపార్శ్వక

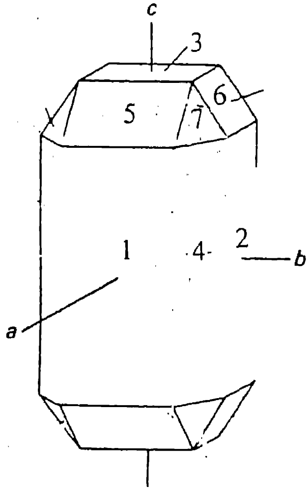


పటం 6.83 ఆండలుసైట్ స్ఫటికాలలోని రూపాలు

1 – ఆధార ద్విపార్శ్వక

2 – పట్టకం (110)

3 – పట్టకం (011)



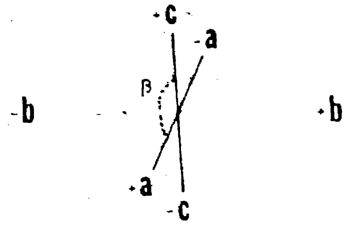
పటం 6.84 ఆలివీన్ స్ఫటికంలోని రూపాలు. దీనిలో ఏడు సరళరూపాలు ఉన్నాయి.

1 – లలాట ద్విపార్శ్వక; 2 – పార్శ్వ ద్విపార్శ్వక; 3 – ఆధార ద్విపార్శ్వక;
4 – పట్టకం (110) 5 – పట్టకం (101); 6 – పట్టకం (011); 7 – ద్విసూచి

ఏకనత వ్యవస్థ - నార్మల్ విభాగం

స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు

ఏకనత వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలను మూడు అసమాన స్ఫటికరేఖీయాక్షాలకు a,b,c- అక్షాలకు- అనుగుణంగా అధ్యయనం చేస్తారు. ఈ స్ఫటికాలలో a,c- అక్షాల మధ్యకోణం లంబకోణంకాదు. అయితే మిగిలిన రెండు అక్షకోణాలు- a,b-అక్షాల మధ్య b,c-అక్షాల మధ్య కోణాలు- లంబకోణాలు. మరోవిధంగా చెప్పవలెనంటె b-అక్షం a-c అక్షసమతలానికి లంబంగా ఉంటుంది. a-అక్షం b-c అక్ష సమతలానికి లంబంగా కాక కొంతవాలుగా ఉంటుంది. c-అక్షం క్షితిజలంబాక్షం. a-అక్షం వెనుకనుంచి ముందుకు కొంత వాలినట్లు ఏటవాలుగా ఉంటుంది. b-అక్షం కుడినుంచి ఎడమకు ఉంటుంది. a-అక్షాన్ని నతాక్షం (clino-axis) అనీ, b-అక్షాన్ని లంబాక్షం (ortho-axis) అనీ అంటారు. ధనసంజ్ఞలను చూపే a-అక్షం కొనముందువైపు, b-అక్షంకొన కుడివైపు, c-అక్షం కొన పైవైపు ఉంటాయి. ఈ వ్యవస్థ అక్షమూలకాలను $a \neq b \neq c$, $\alpha=\gamma=90^0$, $\beta>90^0$ అని రాయవచ్చు. ఈ వ్యవస్థ అక్షకూటమిని పటం 6.85లో చూడవచ్చు.



పటం 6.85 ఏకనత వ్యవస్థ అక్షకూటమి

సౌష్ఠవ మూలకాలు

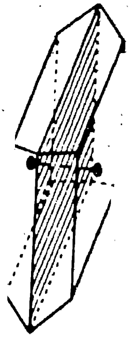
ఏకనత వ్యవస్థకు చెందిన పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగం లేదా నార్మల్ విభాగాన్ని ద్వి-ద్వికోణ పట్టక విభాగం (Rhombic prismatic class) లేదా పట్టక విభాగం (Prismatic class) లేదా జిప్సమ్ రీతి (gypsum type) అని అంటారు. బెరైటిస్ రీతికి చెందిన స్ఫటికాలతో పోల్చి చూస్తే ఈ రీతికి చెందిన స్ఫటికాలలో ఒక్క a-c అక్షసమతలం మాత్రమే సౌష్ఠవ సమతలం అవుతుంది. a-అక్షం ఏటవాలుగా ఉండటం వల్ల a-b అక్షసమతలం, b-c అక్షసమతలం సౌష్ఠవ సమతలాలుకావు. ఈ అక్ష సమతలానికి లంబంగా ఉండే b-అక్షం ఒకటే సౌష్ఠవాక్షం అవుతుంది. a,c అక్షాలు సౌష్ఠవాక్షాలు కావు. స్ఫటికాన్ని b-అక్షంపై భ్రమణం చేసినప్పుడు ఒక ముఖం పూర్తి భ్రమణంలో రెండు సర్వసమస్థానాలను పొందుతుంది కాబట్టి అది ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం అవుతుంది. సౌష్ఠవాక్షం సౌష్ఠవ సమతలానికి లంబంగా ఉంటుంది. సదృశ ముఖాలు, అంచులు, మూలాలు ఎదురెదురుగా వ్యాసరేఖీయంగా అమరి ఉంటాయి కాబట్టి సౌష్ఠవ కేంద్రం ఉంటుంది. జిప్సమ్ రీతి సౌష్ఠవ మూలకాలను కింది విధంగా రాయవచ్చు.

ఒక సౌష్ఠవ అక్షసమతలం (a-c అక్షసమతలం) (1Ax.P.)

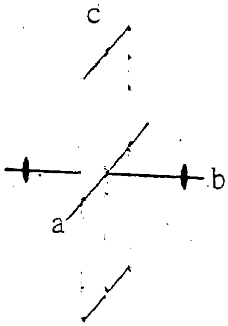
ఒక ద్విరావృత్త సౌష్ఠవ స్ఫటికరేఖీయాక్షం (b-అక్షం) (1 xl.Ax'')

సౌష్ఠవకేంద్రం (C)

ఈరీతి సౌష్ఠవ మూలకాలను పటాలు 6.86, 6.87లో చూడవచ్చు.



పటం 6.86 ఏకనత వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవ మూలకాలు



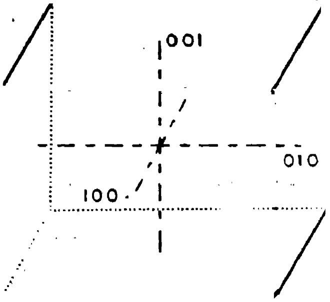
పటం 6.87 ఏకనత వ్యవస్థ నార్మల్ విభాగంలోని సౌష్ఠవ మూలకాల సంబంధం

సరళ రూపాలు

జిప్సమ్ రీతిలో 7 సరళ రూపాలు ఉంటాయి. ఇవన్నీ వివృత రూపాలే. వీటిని కింద వర్ణించాం.

ఆధారద్విపార్శ్వక (Basal pinacoid) : ఈరూపంలో c - అక్షాన్ని ఖండించి a,b-అక్షాలకు సమాంతరంగా ఉండే ముఖాలు రెండు ఉంటాయి. ఈరూపం మిల్లర్ చిహ్నం (001). ఈ రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు : (001), (00$\bar{1}$) (పటం 6.88).

లలాట ద్విపార్శ్వక (Front pinacoid) : ఈరూపంలో a-అక్షాన్ని ఖండించి b,c-అక్షాలకు సమాంతరంగా ఉండే ముఖాలు రెండు ఉంటాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (100). ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు : (100), ($\bar{1}$00) (పటం 6.88). ఈ రూపాన్ని a-ద్విపార్శ్వక అనీ, లంబ ద్విపార్శ్వక (ortho-pinacoid) అనీ అంటారు.

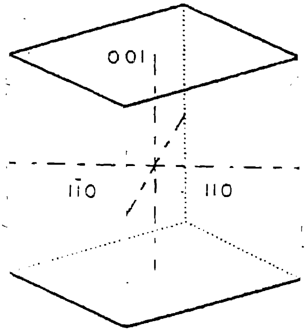


పటం 6.88 ఆధార, లలాట, పార్శ్వ ద్విపార్శ్వకలు

పార్శ్వద్విపార్శ్వక (Side pinacoid) : ఈరూపంలో b-అక్షాన్ని ఖండించి a,c-అక్షాలకు సమాంతరంగా ఉండే ముఖాలు రెండు ఉంటాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (010) ముఖాలమిల్లర్ సూచికాంకాలు : (010), $(0\bar{1}0)$ (పటం 6.88). ఈ రూపాన్ని b-ద్విపార్శ్వక అనీ, నతద్విపార్శ్వక (Clinopinacoid) అనీ అంటారు.

పట్టకం (hko) [Prism (hko)] : ఈ రూపంలో a,b-అక్షాలను రెండింటిని సమాన లేదా అసమాన దూరాలలో ఖండించి c-అక్షానికి సమాంతరంగా ఉండే ముఖాలు నాలుగు ఉంటాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (hko). h,k ల విలువలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉంటాయి. a,b అక్షాలను ప్రమాణ దూరాలలో ఖండించే ముఖాలుగలరూపం మిల్లర్ చిహ్నం (110). (210), (320), (130) మొదలైన చిహ్నాలు గల రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి. (110)చిహ్నంగల రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు : 110, $\bar{1}10$, $\bar{1}\bar{1}0$, $1\bar{1}0$ (పటం 6.89).

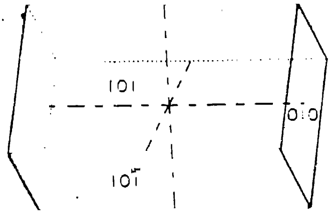
ఈ రూపాన్ని మూడవక్రమం ద్విద్వికోణ పట్టకం (Rhombic prism of Third Order) అని కూడా అంటారు.



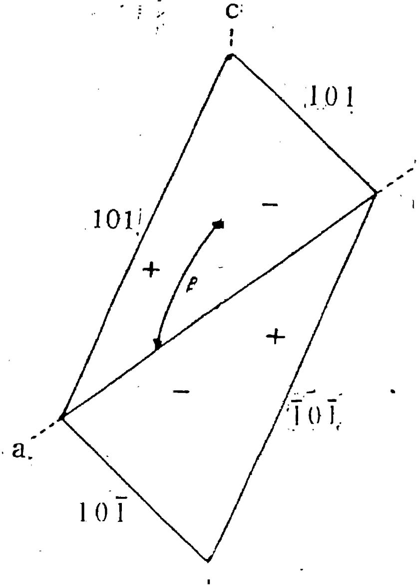
పటం 6.89 పట్టకం (110)+ ఆధార ద్విపార్శ్వక

ద్విపార్శ్వకలు (hol) [Pinacoids (hol)] : ఈ రూపంలోని ముఖాలు a,c-అక్షాలను సమాన లేదా అసమాన దూరాలలో ఖండించి, b-అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (hol). h,l ల విలువలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉంటాయి. ఇటువంటి ముఖాలు నాలుగు ఉండటానికి వీలున్నప్పటికీ జిప్సమ్ రీతి సౌష్ఠవం దృష్ట్యా ఈ నాలుగు ముఖాలు సదృశ ముఖాలు కావు. వీటిలో వ్యాసరేఖీయంగా ఎదురెదురుగా ఉండే రెండు ముఖాలు మాత్రమే సదృశంగా ఉంటాయి. అంటే నాలుగు ముఖాలు రెండు జతల సదృశముఖాలుగా ఉంటాయి. కాబట్టి ఈ నాలుగు ముఖాలు రెండు రెండు ముఖాలుగల రెండు సరళ రూపాలుగా ఏర్పడతాయి. ఈ రెండు రూపాల మిల్లర్ చిహ్నాలు (hol), $(\bar{h}ol)$. ఈ రూపాలను రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు (pinacoids of second order) అనీ, (hol) రూపాన్ని ధనరూపమనీ, $(\bar{h}ol)$ రూపాన్ని ఋణ రూపమని అంటారు. రెండు అక్షాలను ప్రమాణ దూరాలలో ఖండించే రూపాల మిల్లర్ చిహ్నాలు (101), $(\bar{1}01)$. (101) చిహ్నంగల ధన రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు : (101), $(\bar{1}0\bar{1})$. $(\bar{1}01)$ చిహ్నంగల ఋణ రూపంలోని ముఖాల

మిల్లర్ సూచికాంకాలు : ($\bar{1}01$), ($10\bar{1}$) (పటం 6.90); (201), (302), (103) మొదలైన చిహ్నాలు గల రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి. a,c-అక్షాలకు సంబంధించి ధన, ఋణ రూపాల దిగ్విన్యాసాన్ని పటం 6.91 లో చూడవచ్చు. ఈ రూపాలను అర్ధలంబకలశాలు (hemi-orthodomes) అని అనేవారు.

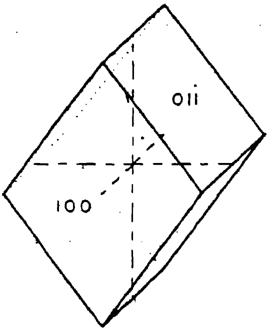


పటం 6.90 ధన, ఋణ రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వికలు + పార్శ్వద్విపార్శ్విక



పటం 6.91 రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వికల దిగ్విన్యాసం

పట్టకం (okl) [Prism (okl)] : ఈ రూపంలో b,c- అక్షాలను సమాన లేదా అసమాన దూరాలలో ఖండించి a-అక్షానికి సమాంతరంగా ఉండే ముఖాలు నాలుగు ఉంటాయి (పటం 6.92). ఈరూపం మిల్లర్ చిహ్నం (okl). k,l ల విలువలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. b,c-అక్షాలను ప్రమాణ దూరాలలో ఖండించే రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (011). (021), (032), (012) మొదలైన చిహ్నాలుగల రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి. (011) చిహ్నంగల రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు : 011, $01\bar{1}$, $0\bar{1}\bar{1}$, $0\bar{1}1$. ఈ రూపాన్ని మొదటిక్రమం ద్విద్వికోణ పట్టకం (Rhombic prism of first order) అని కూడా అంటారు. దీనిని నతకలశం (Clinodome) అని అనేవారు.



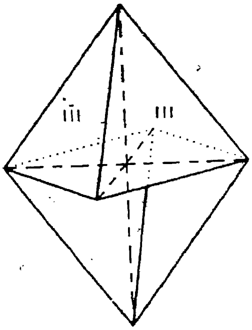
పటం 6.92 పట్టకం (011) + లలాట ద్విపార్శ్వక

పట్టకం (hkl) [Prism (hkl)] : ఈరూపంలో ఉండే విషమబాహుత్రిభుజాకార ముఖాలు అన్నిఅక్షాలను సమాన లేదా అసమాన దూరాలలో ఖండిస్తాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (hkl). h,k,l ల విలువలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. మూడు అక్షాలను ప్రమాణ దూరాలలో ఖండించే ముఖాలు గల రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (111). (112), (321), (132) మొదలైన చిహ్నాలు గల రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి. ఈ చిహ్నాలకు చెందిన ముఖాలు ఎనిమిదేసి ఉండటానికి వీలున్నప్పటికీ జిప్సమ్ రీతి సౌష్ఠవం దృష్ట్యా ఈ ఎనిమిది ముఖాలు సదృశముఖాలు కావు. స్ఫటికంలో ముందువైపు ఎగువన ఉన్న రెండు ముఖాలు, వెనకవైపు దిగువన ఉన్న రెండు ముఖాలు-ఈ నాలుగు ముఖాలు సదృశ ముఖాలు. మిగిలిన నాలుగు మరో గణానికి చెందిన సదృశ ముఖాలు. అంటే 8 ముఖాలు 2 గణాలకు చెందుతాయి కాబట్టి 8 ముఖాలు నాలుగేసి ముఖాలుగల రెండు సరళ రూపాలుగా ఏర్పడతాయి. ఈ రూపాల మిల్లర్ చిహ్నాలు (hkl), ($\bar{h}$kl) వీటిని నాలుగవక్రమం ద్వి-ద్వికోణ పట్టకాలు (Rhombic prisms of fourth order) అనీ, (hkl) రూపాన్ని ధన రూపమనీ, ($\bar{h}$kl) రూపాన్ని ఋణ రూపమనీ అంటారు. (111) చిహ్నం గల ధన రూపంలోని (పటం 6.93) ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు:

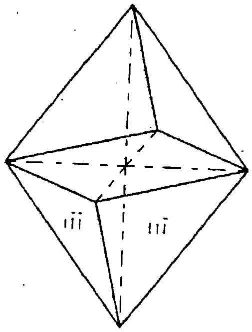
$$111,\quad 1\bar{1}1,\quad \bar{1}\bar{1}\bar{1},\quad \bar{1}1\bar{1}$$

($\bar{1}$11) చిహ్నంగల ఋణరూపం (పటం 6.94) లోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు :

$$\bar{1}11,\quad 11\bar{1},\quad \bar{1}\bar{1}1,\quad 1\bar{1}\bar{1}$$

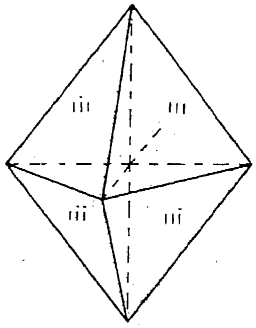


పటం 6.93 ధన నాలుగవక్రమం ద్వి-ద్వికోణ పట్టకం



పటం 6.94 ఋణ నాలుగవక్రమం ద్వి-ద్వికోణ పట్టకం

ఈ రూపాలను అర్ధ ద్విసూచులు (hemi-bipyramids) అని అనేవారు. ఈ రెండు రూపాల సంయోగ రూపాన్ని పటం 6.95లో చూడవచ్చు.



పటం 6.95 ధన, ఋణ నాలుగవక్రమం ద్వి-ద్వికోణ పట్టకాల సంయోగరూపం

పట్టకాలు (hko), (okl), (hkl) ఈ విభాగంలోని సాధారణ రూపాలు. మిగిలిన రూపాలు విశిష్ట రూపాలు. (100), (010), (001) చిహ్నాలు గల రూపాలు అవధిరూపాలు; మిగిలినవి అస్థిర రూపాలు.

పై సరళరూపాల సంయోగరూపాలను కొన్నింటిని కింద ఇచ్చిన ఖనిజ ఉదాహరణలలో పేర్కొన్నాం.

ఖనిజ ఉదాహరణలు

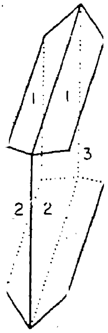
జిప్సమ్ రీతికి చెందిన సంయోగరూపాలలో స్ఫటికీకరణ చెందే కొన్ని ముఖ్యమైన ఖనిజాలను, వాటి స్ఫటికాలలో కనిపించే రూపాలను కింద ఇచ్చాం.

జిప్సమ్ : ధన నాలుగవక్రమం పట్టకం (111) + మూడవక్రమం పట్టకం (110)+ పార్శ్వద్విపార్శ్వీక (010) (పటం 6.96)

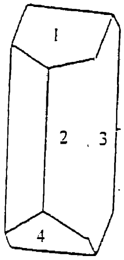
ఆర్థోక్లేస్ : ఆధార ద్విపార్శ్వక (001) + పార్శ్వద్విపార్శ్వక (010) + పట్టకం (110) + ఋణ రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వక ($\bar{2}01$) (పటం 6.97)

ఆగైట్ : పార్శ్వ ద్విపార్శ్వక (010) +లలాట ద్విపార్శ్వక (100)+పట్టకం (110) + ఋణ నాలుగవక్రమం పట్టకం ($\bar{1}11$) (పటం 6.98)

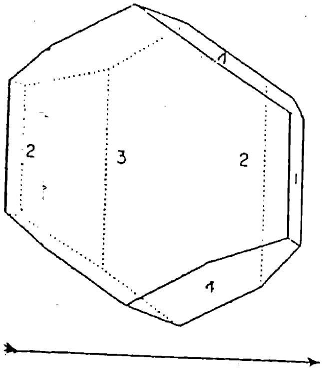
పై ఖనిజాలేకాక హార్న్‌బ్లెండ్, ఎపిడోట్, మైకాలు, స్ఫీన్ కూడా జిప్సమ్ రీతికి చెందిన సంయోగ రూపాలలో స్ఫటికీకరణ చెందుతాయి.



పటం 6.96 జిప్సమ్ స్ఫటికంలోని రూపాలు : 1- ధన నాలుగవక్రమం పట్టకం + 2-మూడవక్రమం పట్టకం + 3- పార్శ్వద్విపార్శ్వక



పటం 6.97 ఆర్థోక్లేస్ స్ఫటికంలోని రూపాలు : 1- ఆధార ద్విపార్శ్వక + 2- పట్టకం + 3- పార్శ్వ ద్విపార్శ్వక + 4- ఋణ రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వక

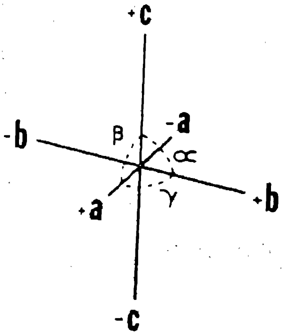


పటం 6.98 ఆగైట్ స్ఫటికంలోని రూపాలు : 1- పార్శ్వద్విపార్శ్వక + 2- మూడవక్రమం పట్టకం + 3-లలాట ద్విపార్శ్వక + 4- ఋణ నాలుగవక్రమం పట్టకం

త్రినత వ్యవస్థ - నార్మల్ విభాగం

స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు

ఒకదానికొకటి వేరువేరు కోణాలలో ఉన్న మూడు అసమాన స్ఫటికరేఖీయాక్షాలకు అనుగుణంగా అధ్యయనం చేసే స్ఫటికాలు త్రినత వ్యవస్థకు చెందుతాయి. c-అక్షం క్షితిజలంబాక్షం. a-అక్షం వెనుక నుంచి ముందుకు వాలినట్లు గాను, b-అక్షం ఎడమవైపు నుంచి కుడివైపుకు వాలినట్లుగాను ఉంటాయి. ధనసంజ్ఞను చూపే a-అక్షం కొన ముందువైపున, b-అక్షం కొన కుడివైపున, c-అక్షంకొన పైవైపున ఉంటాయి. సాధారణంగా a-అక్షం b-అక్షం కన్న పొట్టిగా ఉండటం వల్ల a-అక్షాన్ని హ్రస్వాక్షం (brachy-axis) అనీ, b-అక్షాన్ని దీర్ఘాక్షం (macro-axis) అనీ మొదట్లో అనేవారు. అయితే కొన్ని స్ఫటికాలలో a-అక్షం b-అక్షం కన్న పొడవుగా ఉన్నట్లు గమనించడం చేత ప్రస్తుతం ఈ పేర్లను వాడటం లేదు. ఈ వ్యవస్థ అక్షకూటమిని పటం 6.99 లో చూడవచ్చు. ఈ వ్యవస్థ అక్షమూలకాలను $a \neq b \neq c$, $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^0$ అని రాయవచ్చు.



పటం 6.99 త్రినత వ్యవస్థ అక్షకూటమి

సౌష్ఠవ మూలకాలు

త్రినత వ్యవస్థలోని పూర్ణ సౌష్ఠవ విభాగాన్ని ద్విపార్శ్వక విభాగం (Pinacoidal class) లేదా ఏక్సినైట్ రీతి (axinite type) అంటారు. ఈ విభాగంలో ఒక్క సౌష్ఠవ కేంద్రం తప్ప మరి ఏతర సౌష్ఠవ మూలకాలు ఉండవు. ఈ విభాగంలోని సౌష్ఠవ మూలకాలను కింది విధంగా రాయవచ్చు.

సౌష్ఠవ సమతలాలు --- లేవు

సౌష్ఠవాక్షాలు ---లేవు

సౌష్ఠవ కేంద్రం (C) ఉంది.

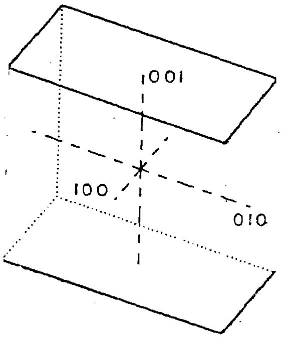
సరళ రూపాలు

ఏక్సినైట్ రీతిలో సౌష్ఠవ కేంద్రం మాత్రమే ఉండటం వల్ల ఈ రీతిలోని ఏ సరళ రూపంలోనైనా రెండు ముఖాలు మాత్రమే ఉంటాయి. అందువల్లనే ఈ విభాగాన్ని ద్విపార్శ్వక

విభాగం అని అంటారు. అన్ని రూపాలు వివృత రూపాలే. ఈ రూపాలను కింద వర్ణించాము.

ఆధార ద్విపార్శ్వక (Basal Pinacoid) : ఈరూపంలో c-అక్షాన్ని ఖండిస్తూ, a,b-అక్షాలకు సమాంతరంగా ఉండేముఖాలు రెండు ఉంటాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (001). ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు 001, $00\bar{1}$ (పటం 6.100).

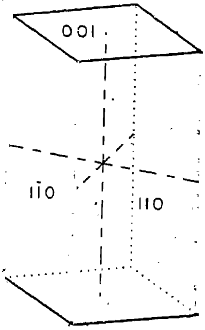
లలాట ద్విపార్శ్వక (Front Pinacoid) : ఈరూపంలో a-అక్షాన్ని ఖండిస్తూ b,c-అక్షాలకు సమాంతరంగా ఉండే ముఖాలు రెండు ఉంటాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (100). ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు 100, $\bar{1}00$ (పటం 6.100). ఈరూపాన్ని దీర్ఘద్విపార్శ్వక (macropinacoid) అని అనేవారు.



పటం 6.100 ఆధార, లలాట, పార్శ్వ ద్విపార్శ్వకలు

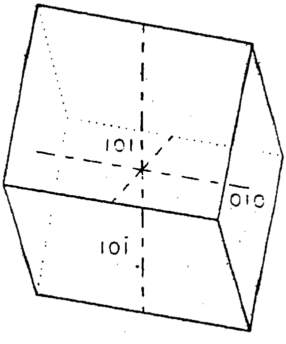
పార్శ్వద్విపార్శ్వక (Side Pinacoid) : ఈరూపంలో b-అక్షాన్ని ఖండిస్తూ a,c-అక్షాలకు సమాంతరంగా ఉండే ముఖాలు రెండు ఉంటాయి. ఈ రూపం మిల్లర్ చిహ్నం (010). ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు 010, $0\bar{1}0$ (పటం 6.100). ఈరూపాన్ని హ్రస్వద్విపార్శ్వక (Brachy pinacoid) అని అనేవారు.

ద్విపార్శ్వకలు (hko) [Pinacoids (hko)] లేదా మూడవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు **(Pinacoids of third)** : ఈ రూపాలలోని ముఖాలు a,b-అక్షాలను సమాన లేదా అసమాన దూరాలలో ఖండిస్తూ, c-అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటాయి. ఇటువంటి లక్షణం గల ముఖాల నాలుగు ఉండటానికి వీలున్నప్పటికీ, రూపం సౌష్ఠవం కారణంగా ఈ నాలుగు ముఖాలలో ఎదురెదురు ముఖాలు రెండు జతల సదృశ ముఖాలుగా ఉంటాయి. అందువల్ల ఈ రెండు జతల ముఖాలు రెండు వేరువేరు ద్విపార్శ్వకలను రూపొందిస్తాయి. వీటిలో ఒక దానిని ధనరూపం అనీ, రెండవ దానిని ఋణ రూపం అనీ అంటారు. ఈ రూపాల మిల్లర్ చిహ్నాలు (hko), ($\bar{h}$ko). (110), (210), (130) మొదలైన రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి. రెండు అక్షాలను ప్రమాణ దూరాలలో ఖండించే ముఖాలుగల రూపాల చిహ్నాలు-ధనరూపం (110), ఋణరూపం ($\bar{1}10$). (110) రూపంలో ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు (110), ($\bar{1}\bar{1}0$). ($\bar{1}10$) రూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు ($\bar{1}10$), ($1\bar{1}0$) (పటం 6.101). ఈ రూపాలను అర్ధ పట్టకాలు (hemi-prisms) అనేవారు.



పటం 6.101 ధన, ఋణ మూడవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు + ఆధార ద్విపార్శ్వక

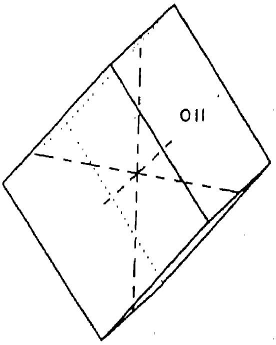
ద్విపార్శ్వకలు (hol) [Pinacoids (hol)] లేదా రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు (Pinacoids of second order) : ఈరూపాలలోని ముఖాలు a,c-అక్షాలను సమాన లేదా అసమాన దూరాలలో ఖండిస్తూ b-అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటాయి. పైన వర్ణించిన ద్విపార్శ్వకలు (hko) మాదిరిగానే ఇవి కూడా ధన, ఋణ రూపాలుగా ఉంటాయి. వీటి మిల్లర్ చిహ్నాలు (hol), ($\bar{h}$ol). (101), (201), (203) మొదలైన రూపాలు ఈ రీతికి చెందుతాయి. రెండు అక్షాలను ప్రమాణదూరాలలో ఖండించే ముఖాలు గల రూపాల చిహ్నాలు : ధనరూపం (101), ఋణరూపం ($\bar{1}$01). వీటిలోని ముఖాల సూచికాంకాలు : (101) రూపంలో 101, $\bar{1}0\bar{1}$, ($\bar{1}$01) రూపంలో $\bar{1}$01, 10$\bar{1}$ (పటం 6.102). ఈ రూపాలను అర్ధ దీర్ఘకలశాలు (hemi-macrodomes) అనేవారు.



పటం 6.102 ధన, ఋణ రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు + పార్శ్వద్విపార్శ్వక

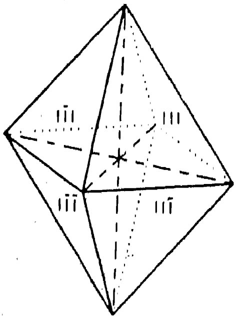
ద్విపార్శ్వకలు (okl) [Pinacoids (okl)] లేదా మొదటిక్రమం ద్విపార్శ్వకలు (Pinacoids of first order) : ఈ రూపాలలోని ముఖాలు b,c-అక్షాలను సమాన లేదా అసమాన దూరాలలో ఖండిస్తూ, a-అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటాయి. ఇవి కూడా ధన, ఋణ రూపాలుగా ఉంటాయి. వీటి మిల్లర్ చిహ్నాలు (okl), (o$\bar{k}$l). రెండు అక్షాలను ప్రమాణ దూరాలలో ఖండించే ముఖాలు

గల రూపాల చిహ్నాలు : ధనరూపం (011) ఋణ రూపం ($0\bar{1}1$). ధనరూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు : 011, $0\bar{1}\bar{1}$. ఋణరూపంలోని ముఖాల మిల్లర్ సూచికాంకాలు $0\bar{1}1$, $01\bar{1}$ (పటం 6.103). ఈ రూపాలను అర్ధహ్రస్వకలశాలు (hemi-brachydomes) అనేవారు.



పటం 6.103 ధన, ఋణ మొదటిక్రమం ద్విపార్శ్వకలు + లలాట ద్విపార్శ్వక

ద్విపార్శ్వకలు **(hkl) [Pinacoids (hkl)]** లేదా నాలుగవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు **(Pinacoids of fourth order) :** ఈ రూపాలలోని ముఖాలు మూడు అక్షాలను సమాన లేదా అసమాన దూరాలలో ఖండిస్తాయి. అందువల్ల వీటి చిహ్నాలలోని h,k,l ల విలువలు సమానంగా లేదా అసమానంగా ఉండవచ్చు. ఏక్సినైట్ రీతి సౌష్ఠవం దృష్ట్యా ఒక్కొక్క రూపంలో రెండేసి ఎదురెదురు సమాంతర ముఖాలు ఉండే నాలుగు రూపాలు ఈ రీతికి చెందినవి ఉంటాయి. వీటిని నాలుగవ క్రమం ద్విపార్శ్వకలు (Pinacoids of fourth order) అనవచ్చు (పటం 6.104). వీటిని మొదట్లో చతుర్థాంశ ద్విసూచులు (Quarter-bipyramids) అనేవారు.



పటం 6.104 నాలుగు నాలుగవక్రమం ద్విపార్శ్వకల సంయోగ రూపం

మూడు అక్షాలను ప్రమాణదూరాలలో ఖండించే ముఖాలుగల నాలుగు రూపాల మిల్లర్ చిహ్నాలను, ముఖాల సూచికాంకాలను కింద చూడవచ్చు.

i ధన కుడిరూపం (Positive right form) (111)- 111, $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$

ii ధన ఎడమరూపం (Positive left form) ($1\bar{1}1$)- $1\bar{1}1$, $\bar{1}1\bar{1}$

iii ఋణ కుడిరూపం (Negative right form) ($\bar{1}1\bar{1}$)- $\bar{1}1\bar{1}$, $1\bar{1}\bar{1}$

iv ఋణ ఎడమరూపం (Negative left form) ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$)- $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$, $11\bar{1}$

ఈ విభాగంలోని ఏడు సరళ రూపాలూ సాధారణ రూపాలే. (001), (100), (010) చిహ్నాలు గల రూపాలు అవధిరూపాలు; మిగిలిన రూపాలు అస్థిర రూపాలు.

ఖనిజ ఉదాహరణలు

ఈవిభాగానికి చెందిన సంయోగ రూపాలలో స్ఫటికీకరణ చెందే కొన్ని ముఖ్యమైన ఖనిజాలను కింద పేర్కొన్నాము.

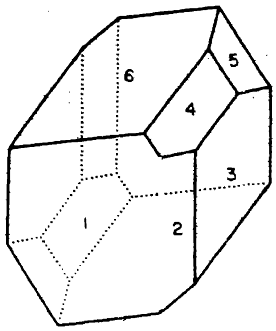
ఏక్సినైట్: లలాట ద్విపార్శ్వక (100) + రెండు మూడవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు + రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వక + ధన కుడి, ధన ఎడమ నాలుగవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు (పటం 6.105)

ప్లజియోక్లేస్ ఫెల్స్పార్‌లు -

ఆల్బైట్ : ఆధారద్విపార్శ్వక (001) + పార్శ్వద్విపార్శ్వక (010) + రెండు మూడవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు (110), ($1\bar{1}0$) + రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వక ($10\bar{1}$) (పటం 6.106)

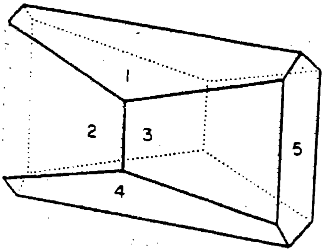
ఎన్‌స్టటైట్ : ఆధారద్విపార్శ్వక (001) + పార్శ్వ ద్విపార్శ్వక (010) + రెండు రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు (101), ($\bar{1}01$) + రెండు మూడవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు (110), ($\bar{1}10$) + మొదటిక్రమం ద్విపార్శ్వక (011) (పటం 6.107).

కయనైట్, రోడొనైట్ ఖనిజాల స్ఫటికాలు కూడా ఈ విభాగానికి చెందినవే.



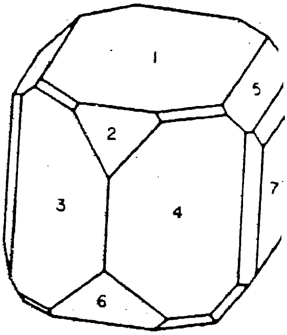
పటం 6.105 ఏక్సినైట్ స్ఫటికంలోని రూపాలు

1,3-మూడవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు; 2-లలాట ద్విపార్శ్వక; 4- రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వక; 5-ధన కుడి నాలుగవక్రకమం ద్విపార్శ్వక; 6- ధన ఎడమ నాలుగవక్రమం ద్విపార్శ్వక



పటం 6.106 ఆల్బైట్ స్ఫటికంలోని రూపాలు

1- ఆధార ద్విపార్శ్వక; 2,3- మూడవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు; 4-ఋణ రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వక; 5- పార్శ్వ ద్విపార్శ్వక



పటం 6.107 ఎనార్జైట్ స్ఫటికంలోని రూపాలు

1- ఆధార ద్విపార్శ్వక; 2-ధన రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వక; 3,4- మూడవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు; 5-ధన మొదటిక్రమం ద్విపార్శ్వక; 6-ఋణ రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వక; 7-పార్శ్వ ద్విపార్శ్వక

ఇవి కాక వరస సంఖ్యలు వేయని రూపాలు కూడా కొన్ని ఉన్నాయి. అవి-రెండు మూడవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు, రెండు రెండవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు, నాలుగు నాలుగవక్రమం ద్విపార్శ్వకలు.

7

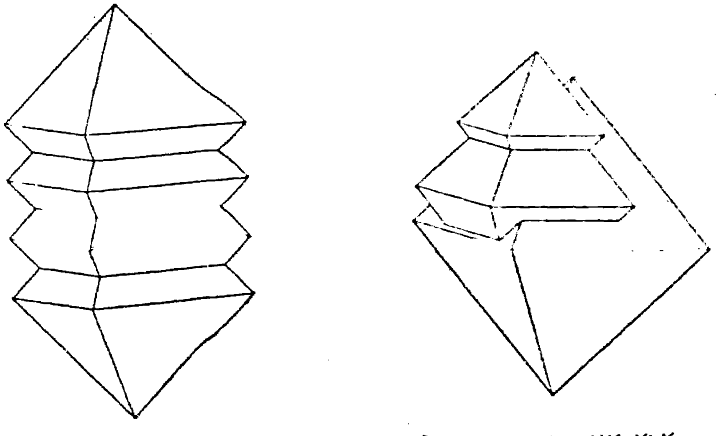
స్ఫటిక యుగ్మత

(Crystal Twinning)

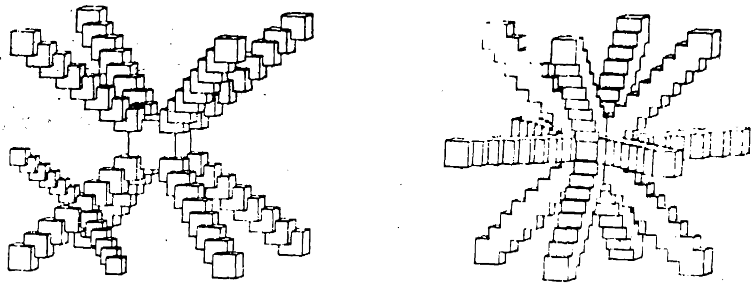
స్ఫటిక సముచ్ఛయాలు

శిలలలోను, ఖనిజరాశులలోను సాధారణంగా ఖనిజాల విడివిడి స్ఫటికాలకు బదులు ఖనిజాల రేణువుల సముచ్ఛయాలు కనిపిస్తాయి. ఈ ఖనిజరేణువులకు బాహ్యంగా స్ఫటిక ఆకృతులు లేకపోయినప్పటికీ వాటి స్ఫాటిక స్వభావం వాటిలో కనిపించే విదళన తలాలు, కొన్ని ప్రకాశ ధర్మాలు లేదా వాటి ఎక్స్‌కిరణ వివర్తన పరిశీలనల ద్వారా అవగతమవుతుంది. పరిపూర్ణంగా రూపొందిన స్ఫటికాలలో కనిపించే క్రమమైన స్ఫాటిక నిర్మితి ఈ రేణువులలో కూడా అంతర్గతంగా ఉంటుంది. ఇటువంటి ఖనిజ రేణు సముదాయాలను స్ఫాటిక సముచ్ఛయాలు **(crystalline aggregates)** అంటారు. అలా కాక ఖనిజాల రెండు లేదా ఎక్కువ విడివిడి స్ఫటికాలు ఒక దానితో ఒకటి కలసి సహస్థితంగా **(associated)** లభిస్తే వాటిని స్ఫటిక సముచ్ఛయాలు **(crystal aggregates)** అంటారు.

స్ఫటికీకరణ ప్రక్రియలో ఒకే సమయంలో వేరువేరు కేంద్రాల వద్ద స్ఫటికీకరణ జరుగుతూ ఉంటుంది కాబట్టి చివరకు రూపొందే స్వరూపం అంతర్బంధనం చెంది ఉన్న స్ఫటికాలతో కూడుకొని ఉంటుంది. ఇటువంటి స్ఫటిక సముచ్ఛయాలలో స్ఫటికాల అమరికలు తరచు క్రమరహితంగా ఉంటాయి. అయితే ఒక్కొక్కప్పుడు ఈ సముచ్ఛయాలలో స్ఫటికాల సమాంతర వృద్ధి (parallel growth) ప్రస్ఫుటంగా కనిపిస్తుంది. విడివిడి స్ఫటికాలు సమాంతరంగా వృద్ధి చెందవచ్చు లేదా పాక్షిక స్ఫటికాలు, వాటి భాగాలు సమాంతర అమరికను చూపే విధంగా వృద్ధి చెందవచ్చు. పాక్షిక స్ఫటికాలు ఏర్పడినప్పుడు వాటివృద్ధి తరచుగా స్ఫటికరేఖీయాక్షాల వెంబడి (పటం 7.1) లేదా సౌష్ఠవాక్షాల వెంబడి (పటం 7.2) జరుగుతుంది. స్ఫటికీకరణ జరిగేకొద్దీ ఈ పాక్షిక స్ఫటిక సముచ్ఛయాలు విడివిడి స్థూల స్ఫటికాలుగా రూపొందవచ్చు.



పటం 7.1 స్ఫటిక రేఖీయాక్షం వెంబడి అష్టపార్శ్వికల సమాంతర వృద్ధులు

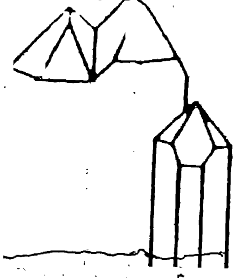


పటం 7.2 త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాల వెంబడి, ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాల వెంబడి షట్పార్శ్వికల సమాంతరవృద్ధి

స్ఫటిక సముచ్చయంలోని స్ఫటికాలన్నీ ఒకే ఖనిజానికి చెందినవయితే ఆసముచ్చయాన్ని సజాతీయ సముచ్చయం (homogeneous aggregate) అనీ, అట్లాకాక స్ఫటికాలు వేరువేరు ఖనిజాలకు చెందినవయితే ఆ సముచ్చయాన్ని విజాతీయ సముచ్చయం (heterogeneous aggregate) అనీ అంటారు. సమాంతరవృద్ధిని చూపే క్వార్ట్జ్ స్ఫటికాల సజాతీయ సముచ్చయాన్ని పటం 7.3లో చూడవచ్చు.

యుగ్మ స్ఫటికాలు (Twin Crystals)

సజాతీయ స్ఫటిక సముచ్చయాలలోని స్ఫటికాలు ఒకదాని ముఖాలు, అంచులు, స్ఫటికరేఖీయ దిశలు మరొకదాని ముఖాలు, అంచులు, స్ఫటికరేఖీయ దిశలకు సమాంతరంగా ఉండే విధంగా వృద్ధి చెంది ఉంటే ఆ స్ఫటికాలు సమాంతర వృద్ధి (parallel growth)ని చూపుతున్నాయని అంటారు (పటం 7.3). అట్లాకాక స్ఫటికాలు వాటి వాటి ముఖాలు, అంచులు, స్ఫటికరేఖీయ దిశలు పాక్షికంగా మాత్రమే సమాంతరత చూపే విధంగా వృద్ధి చెందితే అవి యుగ్మ స్ఫటికాలను (twin crystals) రూపొందిస్తాయి. ఒకే ఖనిజానికి చెందిన వేరు వేరు స్ఫటికాలు వాటిలోని కొన్ని భాగాలు పాక్షిక సమాంతరతను చూపే విధంగాను, మిగిలిన భాగాలు వ్యతిక్రమస్థానాలలో (reverse positions) ఉండే విధంగాను అంతర్ వృద్ధి చెంది ఉంటే ఆ స్ఫటికాలను యుగ్మస్ఫటికాలు అనీ, అటువంటి స్ఫటికాలు యుగ్మత (twinning) ను చూపుతున్నాయనీ అంటారు. ఒక ఖనిజానికి చెందిన రెండు లేదా ఎక్కువ స్ఫటికాలు ఒకే సమయంలో స్ఫటికీకరణ చెందుతున్నప్పుడు వాటి అంతరాళ జాలకాలు పాక్షిక సమాంతరత ఉండే విధంగా అంతర్ బంధనం చెందడం వల్ల యుగ్మ స్ఫటికాలు రూపొందుతాయి.

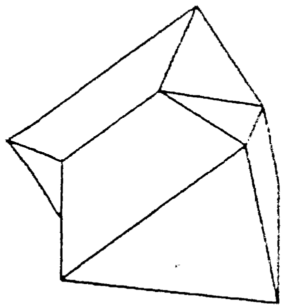


పటం 7.3 సమాంతరావృద్ధి చూపే క్వార్ట్జ్ స్ఫటికాలు

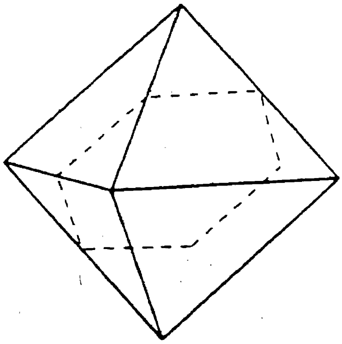
యుగ్మాక్షం, యుగ్మ సమతలం, సంఘటన సమతలం

యుగ్మ స్ఫటికంలోని రెండు భాగాలు వాటిస్థానాల దృష్ట్యా సాధారణంగా రెండు రకాల సంబంధాలను చూపుతాయి. ఒకభాగం రెండవభాగానికి సంబంధించి ఒక అక్షంపైన 180^0 భ్రమణం చెందినట్లుగా గాని, లేదా ఒక భాగం రెండవభాగానికి సంబంధించి ఒక ఉమ్మడి సమతలంపైన పరావర్తనం చెందటం వల్ల రూపొందినట్లుగా గాని, లేదా ఈ రెండు విధాలుగాని కనిపిస్తాయి. ఏ అక్షంపై భ్రమణం జరిగినట్లు కనిపిస్తుందో ఆ అక్షాన్ని యుగ్మాక్షం (twin axis or twinning axis) అనీ, పరావర్తన సంక్రియకు కారణమైన సమతలాన్ని యుగ్మ సమతలం (twin plane or twinning plane) అనీ అంటారు. ఈ సమతలం యుగ్మాన్ని దర్పణ ప్రతిబింబాలుగా ఉండే రెండు భాగాలుగా విభజిస్తుంది. యుగ్మ స్ఫటికంలోని రెండు భాగాలు ఏ సమతలం వెంబడి జతచేయబడి ఉన్నాయో ఆ సమతలాన్ని సంఘటన సమతలం (composition plane) అంటారు. ఈ సమతలం యుగ్మసమతలంతో ఏకీభవించవచ్చు, ఏకీభవించకపోవచ్చు. చాలా యుగ్మస్ఫటికాలలో వ్యతిక్రమభాగాలలోని అనురూప ముఖాలు ఒకదానికొకటి కొంతకోణంలో ఉంటాయి. ఈ కోణాన్ని అంతర్గత కోణం (re-entrant angle) అంటారు.

పటం 7.4లో ఒక యుగ్మ స్ఫటికాన్ని చూడవచ్చు. ఇది అష్టపార్శ్వికకు సంబంధించి ఉన్నట్లు స్పష్టంగా తెలుస్తున్నది. అయితే దీనిలో ముందుభాగం వ్యతిక్రమ స్థానంలో ఉంది. పటం 7.5లో చూపిన విధంగా అష్టపార్శ్విక దానిలోని ఒక జత ముఖాలకు సమాంతరంగా ఉన్న సమతలం వెంబడి సౌష్ఠవ యుతంగా రెండు భాగాలుగా విభజించబడి ఉన్నట్లు భావిస్తే, ముందువైపు ఉన్న దిగువ భాగాన్ని పైన పేర్కొన్న సమతలానికి లంబంగా, అంటే $11\bar{1}$ ముఖానికి లంబంగా ఉన్న అక్షంపైన 180^0 భ్రమణం చేస్తే పటం 7.4లో చూపిన యుగ్మ స్ఫటికం రూపొందుతుంది. అంతేకాక పైన చెప్పిన సమతలం వెంబడి ఒక భాగం పరావర్తనం చెందడం వల్ల కూడా ఈ యుగ్మ స్ఫటికం రూపొందుతుందని చెప్పవచ్చు. ఈ ఉదాహరణలో $11\bar{1}$ ముఖానికి సమాంతరంగా స్ఫటికంలో ఊహించిన సమతలం యుగ్మ సమతలం, దానికి లంబంగా ఉండే అక్షం యుగ్మాక్షం. ఈ యుగ్మాక్షం అష్టపార్శ్విక యొక్క $11\bar{1}$ ముఖానికి లంబంగా ఉండే త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షంతో ఏకీభవిస్తుంది. దీనిలో యుగ్మసమతలమే సంఘటన సమతలం.

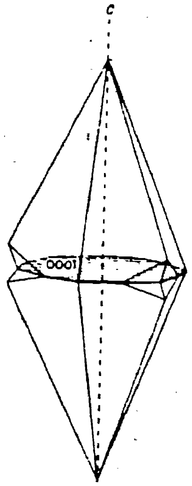


పటం 7.4 యుగ్మత చెందిన అష్టపార్శ్విక



పటం 7.5 అష్టపార్శ్వక యుగ్మంలో యుగ్మ సమతలం $11\bar{1}$ ముఖానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది

పటం 7.6లో కేల్సైట్ యుగ్మ స్ఫటికాన్ని చూడవచ్చు. దీనిలోని రూపం విషమత్రిభుజపార్శ్వక. ఈ యుగ్మ స్ఫటికంలో అంతర్గత కోణాలు సూచించే, ఆధారద్విపార్శ్వక (0001) కు సమాంతరంగా ఉండే ఒక క్షితిజ సమాంతర సమతలం యుగ్మసమతలం అవుతుంది; సంఘటన సమతలం కూడా అదే. c-అక్షం యుగ్మాక్షం. ఈ స్ఫటికం ఆధార ద్విపార్శ్వకపై యుగ్మతను చూపుతున్నదని అంటారు.



పటం 7.6 కేల్సైట్ యుగ్మం

యుగ్మ సమతలం : ఆధారద్విపార్శ్వక (0001); యుగ్మాక్షం : c-అక్షం

యుగ్మ స్ఫటికాలను సాధారణంగా అంతర్గత కోణాలు ఉండడం, అనురూప అంచులు అన్నీ సమాంతరంగా ఉండకపోవడం, రెండు భాగాలలో సౌష్ఠవ సమతలంగా ఉండని ఒక సమతలం యుగ్మానికి సౌష్ఠవ సమతలంగా ఉండడం- ఈ అంశాలు ఆధారంగా గుర్తించవచ్చు.

యుగ్మత నియమాలు (Laws of twinning)

యుగ్మ స్ఫటికాల పరిశీలనల నుంచి స్ఫటికాలలో యుగ్మత కొన్ని నిర్దిష్టమైన నియమాలకు అనుగుణంగా రూపొందుతుందని స్పష్టమవుతుంది. వీటిని యుగ్మత నియమాలు అంటారు. వీటిని కింద క్లుప్తంగా చూడవచ్చు.

1. స్ఫటికంలోని సౌష్ఠవాక్షాలలో త్రిరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు తప్ప మిగిలిన ద్విరావృత్త, చతురావృత్త, షడావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు ఏవీ యుగ్మాక్షాలుగా ఉండవు.

2. స్ఫటికంలోని సౌష్ఠవ సమతలాలు స్ఫటికాన్ని సహజంగానే రెండు దర్పణ ప్రతిబింబాలుగా విభజిస్తాయి కాబట్టి అవి ఎప్పుడూ యుగ్మ సమతలాలుగా ఉండవు. అంటే యుగ్మ సమతలాలు యుగ్మ స్ఫటికంలోని భాగాల సౌష్ఠవ సమతలాలతో ఎప్పుడూ ఏకీభవించవు.

3. ఒక సౌష్ఠవ విభాగానికి చెందిన యుగ్మ స్ఫటికంలోని యుగ్మాక్షం లేదా యుగ్మ సమతలం ఆ విభాగాని కన్న ఎక్కువ స్థాయి సౌష్ఠవాన్ని చూపే విభాగానికి చెందిన సౌష్ఠవాక్షం లేదా సౌష్ఠవ సమతలంతో ఏకీభవించవచ్చు. తక్కువ స్థాయి సౌష్ఠవం గల విభాగానికి చెందిన స్ఫటికంలో ఇటువంటి యుగ్మత సంభవించినప్పుడు, యుగ్మస్ఫటికం ఎక్కువస్థాయి సౌష్ఠవం గల విభాగపు సౌష్ఠవాన్ని పొందుతుంది.

4. సౌష్ఠవకేంద్రం ఉన్న అన్ని సౌష్ఠవ విభాగాలకు చెందిన యుగ్మ స్ఫటికాలలో యుగ్మ సమతలం, దానికి లంబంగా యుగ్మాక్షం రెండూ ఉంటాయి. సౌష్ఠవ కేంద్రంలేని సౌష్ఠవ విభాగాలకు చెందిన యుగ్మస్ఫటికాలలో యుగ్మ సమతలంగాని, యుగ్మాక్షంకాని ఏదో ఒకటే ఉంటుంది.

5. యుగ్మ సమతలం ఏదో ఒక స్ఫటిక ముఖానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. స్ఫటిక ముఖాన్ని సూచించినట్లే యుగ్మ సమతలాన్ని కూడా మిల్లర్ చిహ్నంతో సూచించవచ్చు. యుగ్మాక్షం ఏదైనా ఒక ముఖానికి లంబంగా గాని, ఏదైనా స్ఫటికరేఖీయాక్షానికి సమాంతరంగా లేదా లంబంగాగాని ఉంటుంది.

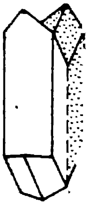
యుగ్మ నియమం (Twin law)

యుగ్మస్ఫటికంలోని భాగాల సంబంధాన్ని, యుగ్మం స్వభావాన్ని యుగ్మ సమతలం ద్వారా, యుగ్మాక్షం ద్వారా తెలియజేయడాన్ని యుగ్మ నియమం అంటారు. ఈ నియమాలకు తరచుగా నిర్దిష్టమైన పేర్లు పెడతారు. ఈ పేర్లు యుగ్మస్ఫటికం యొక్క అభిలాక్షణికమైన ఆకారానికి గాని, లేదా ఆరీతి యుగ్మాలు లభించిన ప్రదేశానికి గాని లేదా ఆరీతి యుగ్మాన్ని తరచుగా చూపే ఖనిజానికి గాని సంబంధించి ఉంటాయి. స్టారొలైట్ చూపే సిలువ రీతి (cross-shaped or cruciform) యుగ్మం, క్వార్ట్జ్ చూపే బ్రెజిల్ యుగ్మం (Brazil twin), రూటైల్ చూపే రూటైల్ యుగ్మం (Rutile twin) వీటిని వరసగా పైమూడు రకాల పేర్లకు ఉదాహరణలుగా చెప్పుకోవచ్చు.

యుగ్మాలలోని రీతులు (Types of twins)

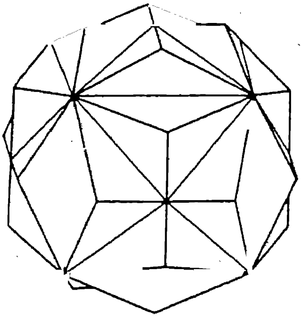
స్ఫటిక యుగ్మాలలో ఎన్నో రీతులు కనిపిస్తాయి. వాటిలో ముఖ్యమైన వాటిని కింద చూడవచ్చు.

స్పర్శ యుగ్మాలు (contact twins) లేదా సరళ యుగ్మాలు (simple twins) : ఈరీతి యుగ్మాలలోని రెండు భాగాలు ఒక సమతలం వద్ద జోడించబడినట్లు ఉంటాయి. ఆ సమతలం సంఘటన సమతలమేకాక, యుగ్మసమతలంకూడా అవుతుంది. ఆ సమతలం యుగ్మానికి సౌష్ఠవ సమతలంగా కూడా ఉంటుంది. స్పినెల్, కేల్సైట్, జిప్సమ్ ఖనిజాల స్ఫటికాలు ఈ రీతి యుగ్మాలను చూపుతాయి (పటం 7.7).

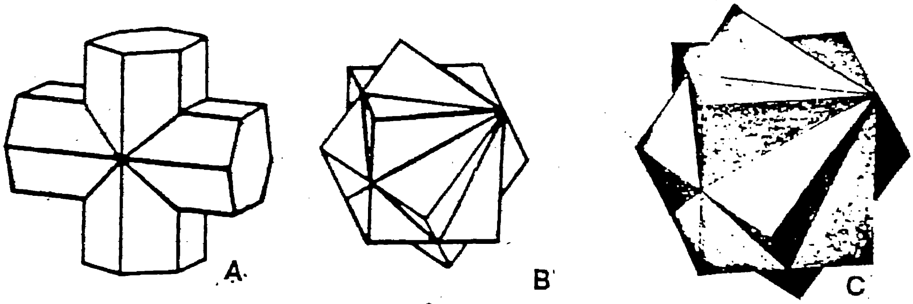


పటం 7.7 జిప్సమ్ చూపే స్పర్శయుగ్మం

వేధన యుగ్మాలు (penetration twins) : ఈరీతి యుగ్మాలలో స్ఫటికాలు ఒకదానిలోకి మరొకటి చొచ్చుకొనిపోయినట్లు కనిపిస్తాయి. ఇటువంటి యుగ్మాలలో యుగ్మ సమతలం ఉండదు. వీటిలో సంఘటన సమతలం (composition-surface) క్రమరహితంగా ఉంటుంది. పైరైట్, ఫ్లోరైట్, స్టారొలైట్ ఖనిజాల స్ఫటికాలు ఈ రీతి యుగ్మాలను చూపుతాయి (పటాలు 7.8, 7.9).



పటం 7.8 పైరైట్ చూపే వేధన యుగ్మాలు (ఐరన్ క్రాస్)

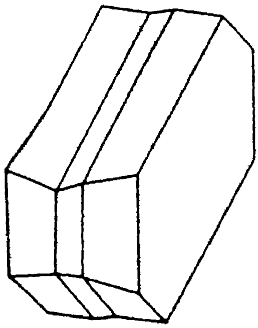


పటం 7.9 వేధన యుగ్మాలు

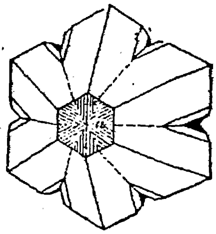
A. స్టారొలైట్, B,C. ఫ్లోరైట్

పునరావృత్త యుగ్మాలు (repeated twins) లేదా బాహువిధయుగ్మాలు **(multiple twins) :** ఈరీతి యుగ్మాలలో పైన వర్ణించిన వాటిలో మాదిరిగా రెండు కాక మూడు లేదా ఇంకా ఎక్కువ భాగాలు లేదా స్ఫటికాలు ఉంటాయి. దీనిలో యుగ్మత ఒకే యుగ్మ నియమం ప్రకారం పునరావృత్తం చెంది ఉంటుంది. పునరావృత్త యుగ్మంలోని సంఘటన సమతలాలన్నీ ఒక దానికొకటి సమాంతరంగా ఉంటే దానిని బాహుళ సంశ్లేషణ యుగ్మం (polysynthetic twin) అని అంటారు (పటం 7.10). ప్లజియోక్లేస్ ఈ రీతి యుగ్మాన్ని చూపుతుంది. సంఘటన సమతలాలు సమాంతరంగా ఉండనప్పుడు, యుగ్మం ఆకారంలో కొంత వక్రత కనిపించి, యుగ్మంలోని భాగాలన్నీ క్రమమైన రీతిలో అమరి వృత్తాకార లేదా చక్రాకార రూపాన్ని ఏర్పరుస్తాయి.

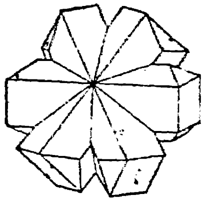
ఇటువంటి యుగ్మాన్ని చక్రీయ యుగ్మం (cyclic twin) అని అంటారు (పటం 7.11, 7.12). చక్రీయ యుగ్మంలోని స్ఫటికాలు మూడు అయితే దానిని త్రికస్ఫటికం (trilling) అనీ, నాలుగు అయితే చతుష్క స్ఫటికం (fourling) అనీ, అయిదు అయితే పంచక స్ఫటికం (fiveling) అనీ, ఆరు అయితే షష్ఠక స్ఫటికం (sixling) అనీ, ఎనిమిది అయితే అష్టక స్ఫటికం (eightling) అనీ అంటారు. అరాగొనైట్, స్టారొలైట్, క్రైసోబెరిల్, స్పినెల్, రూటైల్ ఖనిజాల స్ఫటికాలు చక్రీయ యుగ్మాలను చూపుతాయి.



పటం 7.10 బహుళ సంశ్లేషణ యుగ్మం. యుగ్మసమతలాలు ఒకదానికొకటి సమాంతరంగాను, పార్శ్వద్విపార్శ్వకకు సమాంతరంగాను ఉన్నాయి.



పటం 7.11 క్రైసోబెరిల్ చూపే చక్రీయ యుగ్మం



పటం 7.12 స్టారొలైట్ చూపే చక్రీయ యుగ్మం

జటిల (complex) లేదా సమ్మేళన (compound) యుగ్మాలు : ఈ రీతియుగ్మంలో యుగ్మత రెండు లేదా ఎక్కువ యుగ్మ నియమాలను అనుసరించి జరుగుతుంది. ప్లజియోక్లేస్ ఖనిజం స్ఫటికాలు జటిల యుగ్మాలను చూపుతాయి.

ఆదియుగ్మాలు (primary twins), అనంతర యుగ్మాలు (secondary twins)

స్ఫటికం వృద్ధి చెందేటప్పుడే దానిలో యుగ్మత సంభవిస్తే ఆ యుగ్మ స్ఫటికాన్ని ఆదియుగ్మం లేదా వృద్ధి యుగ్మం (growth twin) అంటారు. అలాకాక స్ఫటికం వృద్ధిచెందిన తరవాత దానిలో యుగ్మత సంభవిస్తే ఆ యుగ్మ స్ఫటికాన్ని అనంతర యుగ్మం అంటారు. ఉష్ణోగ్రతలోని మార్పుల వల్ల స్ఫటికంలో అనంతర యుగ్మత జరిగితే ఆస్ఫటికాన్ని రూపాంతర యగ్మం (transformation twin) అంటారు. ఎక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్ద రూపొందే అధిక క్వార్ట్జ్(high-quartz) 573^0 ఉష్ణోగ్రత వద్ద అల్ప-క్వార్ట్జ్ (low-quartz)గా మార్పుచెందేటప్పుడు దానిలో రూపాంతర యుగ్మత సంభవించవచ్చు. పీడన ప్రభావం వల్ల స్ఫటికంలో యుగ్మత సంభవిస్తే దానిని అనువర్తన యుగ్మత (glide twinning) అంటారు. స్టిబ్నైట్ వంటి అల్పకఠిన ఖనిజాలు ఈ రకం యుగ్మతను చూపుతాయి.

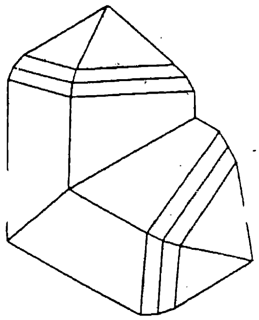
వివిధ స్ఫటిక వ్యవస్థలలోని యుగ్మాలకు ఉదాహరణలు

యుగ్మత అంత అరుదైన ప్రక్రియ అని భావించ కూడదు. ఇప్పటి వరకు తెలిసిన ఖనిజాలలో దాదాపు 20 శాతం ఖనిజాలకు సంబంధించిన యుగ్మాలను ఖనిజశాస్త్రజ్ఞులు వర్ణించారు. వీటిలో మూడింట రెండువంతులు కేవలం ఏదో ఒక యుగ్మనియమానికి అనుగుణంగా యుగ్మతను చూపితే మిగిలిన వాటిలో రెండు లేదా ఎక్కువ యుగ్మ నియమాలు కనిపిస్తాయి. యుగ్మత ప్రాముఖ్యం ఏకనత స్ఫటికాలలో అత్యధికంగా ఉండి విషమాక్ష, సమాక్ష, త్రికోణ, చతుష్కోణ, త్రినత, షట్కోణ స్ఫటికాలలో ఆక్రమంలో తగ్గుతూ కనిపిస్తుంది. వివిధ స్ఫటిక వ్యవస్థలలోని ముఖ్యమైన కొన్ని యుగ్మవిధానాలను గురించి కింద చూడవచ్చు.

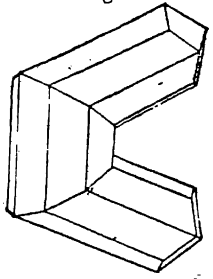
సమాక్ష వ్యవస్థ : షట్-అష్టపార్శ్విక విభాగం లేదా నార్మల్ విభాగానికి చెందిన స్ఫటికాలు ఒక రకం యుగ్మతను మాత్రమే చూపుతాయి. దీనిని స్పినెల్ యుగ్మం అంటారు. ఈ యుగ్మం స్పినెల్ నియమాన్ని (spinel law) అనుసరించి జరుగుతుంది. ఈ రకం యుగ్మంలో యుగ్మసమతలం అష్టపార్శ్విక ముఖానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది (పటం 7.4), యుగ్మాక్షం దానికిలంబంగా ఉంటుంది. పటం 7.9B లో చూపిన ఫ్లోరైట్ వేధన యుగ్మం కూడా స్పినెల్ నియమం ప్రకారమే రూపొందుతుంది. ఈ వ్యవస్థలోని తక్కువ స్థాయి సౌష్ఠవం గల ద్వి-ద్వాదశ పార్శ్విక విభాగంలో స్ఫటికీకరణ చెందే పైరైట్ స్ఫటికాలు చూపే ఐరన్‌క్రాస్ (iron cross) యుగ్మంలో యుగ్మ సమతలం ద్వాదశ పార్శ్విక ముఖానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. యుగ్మాక్షం దీనికి లంబంగా ఉంటుంది (పటం 7.8). ఈ సమతలం, అక్షం ఈ వ్యవస్థలోని నార్మల్ విభాగంలో లేదా గెలీనారీతిలో సౌష్ఠవ సమతలం, సౌష్ఠవాక్షం అవుతాయి, కాని పైరైట్ రీతిలో కావు. అంటే ఐరన్‌క్రాస్ యుగ్మంలో అధిక స్థాయి సౌష్ఠవం ఆపాదితమవుతుందన్నమాట.

చతుష్కోణ వ్యవస్థ : ఈ వ్యవస్థలోని ద్విచతుష్కోణ విభాగం లేదా నార్మల్ విభాగంలోని అతి సాధారణంగా కనిపించే యుగ్మం రూటైల్ నియమాన్ని (rutile law) అనుసరించి రూపొందుతుంది. దీనిలో యుగ్మ సమతలం రెండవక్రమం ద్విసూచి (101) ముఖానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. ఇది సంఘటన సమతలంతో ఏకీభవిస్తుంది. ఈ రకం యుగ్మాలను మోచేతిరీతి లేదా మోకాలు రీతి (Knee shaped) యుగ్మాలు లేదా జెనిక్యులేట్ యుగ్మాలు

(geniculate twins) అంటారు (పటాలు 7.13, 7.14). రూటైల్, జిర్కాన్, కాసిటరైట్ ఈ రీతి యుగ్మాలను చూపుతాయి. రూటైల్ బహువిధ యుగ్మాలను చూపవచ్చు.

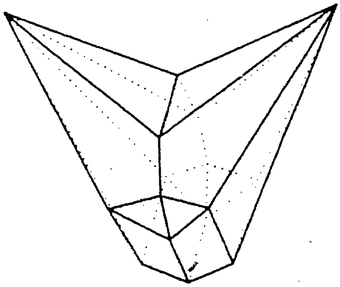


పటం 7.13 జిర్కాన్ చూపే జెనిక్యులేట్ యుగ్మం

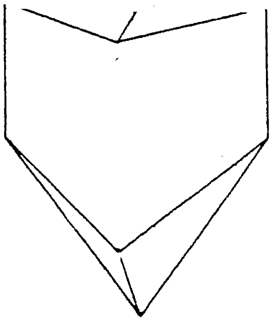


పటం 7.14 రూటైల్ చూపే జెనిక్యులేట్ యుగ్మం

షట్కోణ వ్యవస్థ, త్రికోణ వ్యవస్థ : ఈ వ్యవస్థలలో కనిపించే ముఖ్యమైన యుగ్మాలు త్రికోణ భాగంలోనే కనిపిస్తాయి. కేల్సైట్ స్ఫటికాలు చూపే యుగ్మాలు ముఖ్యమైనవి. పటం 7.6లో చూపిన యుగ్మం ఒక రకం. దీనిలో ఆధార ద్విపార్శ్విక ముఖానికి సమాంతరంగా యుగ్మ సమతలం ఉంటుంది. c-అక్షం యుగ్మాక్షం అవుతుంది. ఇతర కేల్సైట్ యుగ్మాలలో ధన, ఋణ త్రికోణ సమచతుర్భుజ పార్శ్వికల ముఖాలు యుగ్మ సమతలాలుగా ఉంటాయి (పటాలు 7.15, 7.16). పటం 7.15లో $(10\bar{1}1)$ యుగ్మ సమతలం; పటం 7.16 లో యుగ్మ సమతలం $(01\bar{1}2)$ ముఖానికి సమాంతరంగా ఉంది. ఇతర విభాగాలకు చెందిన యుగ్మాలలో చెప్పుకోదగ్గవి క్వార్ట్జ్ చూపే బ్రెజిల్ నియమం యుగ్మం, డాఫైన్ యుగ్మం (Dauphine twin).



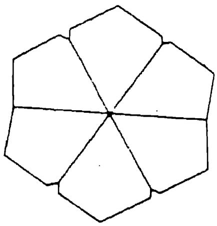
పటం 7.15 కేల్సైట్ యుగ్మం : యుగ్మసమతలం $(10\bar{1}1)$



పటం 7.16 కేల్సైట్ యుగ్మం. యుగ్మ సమతలం $(01\bar{1}2)$

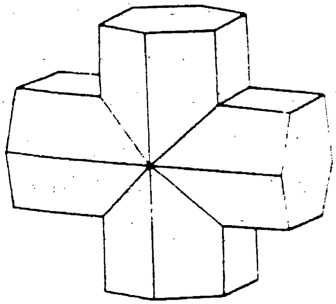
విషమాక్ష వ్యవస్థ : ఈ వ్యవస్థలో అతిసాధారణంగా కనిపించే యుగ్మాలలో యుగ్మసమతలం పట్టకం (110) ముఖానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. ఈరీతి యుగ్మాన్ని అరాగొనైట్ ఖనిజం చూపుతుంది. ఈ ఖనిజం చూపే స్పర్శ యుగ్మాన్ని పటం 7.17లో చూడవచ్చు. పట్టక కోణం సుమారు 60^0 ఉన్నప్పుడు చక్రీయ రీతి పునరావృత్త యుగ్మం రూపొందుతుంది (పటం 7.18). ఇటువంటి యుగ్మత వల్ల స్ఫటికానికి ఆభాస షట్కోణ సౌష్ఠవం ఆపాదితమవుతుంది.

పటం 7.17 అరాగొనైట్ స్పర్శయుగ్మం

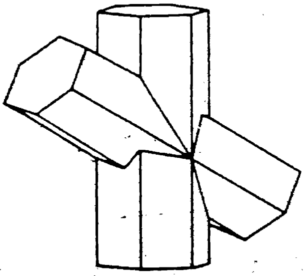


పటం 7.18 అరాగొనైట్ చూపే చక్రీయ యుగ్మం

స్టారొలైట్ ఖనిజం రెండు రకాల యుగ్మాలను చూపుతుంది. ఒకదానిలో యుగ్మసమతలం మొదటిక్రమం పట్టకం (032) ముఖానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. పట్టక కోణం సుమారుగా 45^0 ఉంటుంది కాబట్టి యుగ్మంలోని రెండు భాగాలు ఒకదానిలోకొకటి లంబకోణంలో చొచ్చుకొని పోయినట్లు కనిపిస్తాయి. దీనిని 'మాల్టీస్ క్రాస్' యుగ్మం ('Maltese Cross' twin) అంటారు (పటం 7.19). రెండవ రకం యుగ్మంలో యుగ్మ సమతలం ద్విసూచి (232) ముఖానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. ఇటువంటి యుగ్మంలో రెండు భాగాలు ఒకదానినొకటి 60^0 కోణంలో ఛేదిస్తాయి. దీనిని 'స్క్యూ' యుగ్మం ('Skew' twin) అంటారు (పటం 7.20).

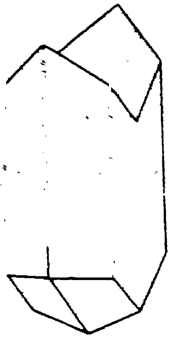


పటం 7.19 స్టారొలైట్ చూపే 'మాల్టీస్‌క్రాస్' యుగ్మం



పటం 7.20 స్టారొలైట్ చూపే 'స్క్యూ' యుగ్మం

ఏకనత వ్యవస్థ : ఈ వ్యవస్థకు చెందిన యుగ్మాలలో జిప్సమ్, ఆర్థోక్లేస్ స్ఫటికాలు చూపే యుగ్మాలు ముఖ్యమైనవి. జిప్సమ్ చూపే యుగ్మంలో యుగ్మ సమతలం లలాట ద్విపార్శ్విక (100) ముఖానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. ఈ యుగ్మం ఆకారం కారణంగా దీనిని 'స్వాలోతోకరీతి' ('swallow tail' type) యుగ్మం అంటారు (పటం 7.21).

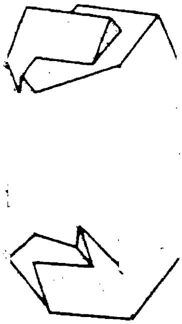


పటం 7.21 జిప్సమ్ చూపే స్పర్శయుగ్మం లేదా 'స్వాలోతోక రీతి' యుగ్మం

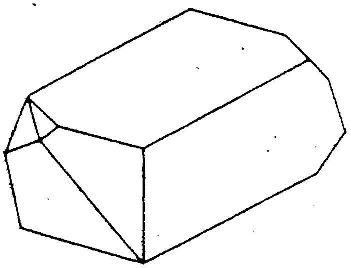
ఆర్థోక్లేస్ ఖనిజం మూడు నియమాలకనుగుణంగా యుగ్మతను చూపుతుంది. ఈ మూడు రకాలను కార్ల్స్‌బాడ్ యుగ్మం (Carlsbad twin) (పటం 7.22), బవెనో యుగ్మం (Baveno twin), మానిబాచ్ యుగ్మం (Manebach twin) అంటారు. కార్ల్స్‌బాడ్ యుగ్మంలో c-అక్ష

యుగ్మాక్షం. దానికిలంబంగా ఉండే సమతలం యుగ్మసమతలం, పార్శ్వద్విపార్శ్వక (010) ముఖం సంఘటన సమతలం అవుతాయి. ఈ రకం యుగ్మాలలో వేధన రీతి యుగ్మాలు (పటం 7.23) తరచుగా కనిపిస్తాయి. బవెనో యుగ్మంలో యుగ్మసమతలం, సంఘటన సమతలం మొదటిక్రమం పట్టకం (021) ముఖానికి సమాంతరంగా ఉంటాయి (పటం 7.24). మానిబాచ్ యుగ్మంలో యుగ్మసమతలం, సంఘటన సమతలం ఆధారద్విపార్శ్వక (001) కు సమాంతరంగా ఉంటాయి. ఇది స్పర్శ యుగ్మరీతికి చెంది ఉంటుంది (పటం 7.25).

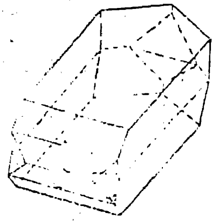
పటం 7.22 కార్ల్స్‌బాడ్ యుగ్మం (స్పర్శరీతి)



పటం 7.23 కార్ల్స్‌బాడ్ యుగ్మం (వేధనరీతి); c-అక్షం యుగ్మాక్షం

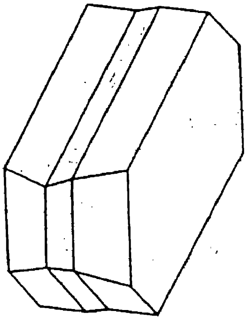


పటం 7.24 బవెనో యుగ్మం

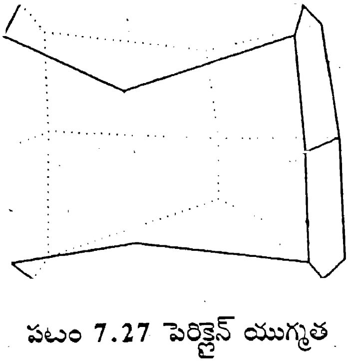


పటం 7.25 మానిబాచ్ యుగ్మం

త్రినత వ్యవస్థ : ఈ వ్యవస్థలో ప్లజియోక్లేస్ ఫెల్స్పార్లు చూపే యుగ్మాలు ముఖ్యమైనవి. ఈ యుగ్మాలు రెండు యుగ్మ నియమాలను అనుసరించి ఉంటాయి. అవి ఆల్బైట్ నియమం (Albite law), పెరిక్లైన్ నియమం (Pericline law). ఆల్బైట్ రకం యుగ్మంలో (పటం 7.26) పార్శ్వ ద్విపార్శ్వక (010) కు సమాంతరంగా ఉండే సమతలం యుగ్మ సమతలంగా ఉంటుంది.



పటం 7.26 ఆల్బైట్ యుగ్మత



పటం 7.27 పెరిక్లైన్ యుగ్మత

ఇది పునరావృత్త బహుళ సంశ్లేషణ యుగ్మరీతికి చెంది ఉంటుంది. పెరిక్లైన్ రకం యుగ్మం (పటం 7.27) లో b-అక్షం యుగ్మాక్షంగా ఉంటుంది. b-అక్షానికి సమాంతరంగా ఉండి సమచతుర్భుజాకార ఛేదం ఏర్పడే విధంగా పట్టక ముఖాలను ఖండించే ఒక సమతలం సంఘటన సమతలం అవుతుంది.

8

స్ఫటికాల ద్వారా కాంతి ప్రసరణ

(Propagation of Light Through Crystals)

కాంతి శూన్యంలోను, వాయు, ద్రవ పదార్థాలలోను, పారదర్శక ఘన పదార్థాలలోను ప్రసరిస్తుంది. కాంతి ప్రసరించే శూన్యాన్ని లేదా పదార్థాన్ని యానకం (medium) అంటారు. వివిధ పదార్థాలలో కాంతి ప్రసారమయ్యే విధానం ప్రధానంగా ఆపదార్థం అంతర్నిర్మితి మీద ఆధారపడి ఉంటుంది.పారదర్శక స్ఫటికాల ద్వారా కాంతి ప్రసరించే విధానం, ప్రసారితకాంతిలో ఆస్ఫటికాలు చూపే ప్రకాశ ధర్మాలను (optical properties) గురించి పాఠ్యప్రణాళికలో నిర్దేశించిన మేరకు ఈ అధ్యయంలో తెలుసుకుందాం. ఈ వివరణ సమగ్రంగా ఉండడంకోసం కాంతికి సంబంధించిన కొన్ని మౌలిక అంశాలను కూడా ఈ అధ్యయంలో ప్రస్తావించడం జరిగింది.

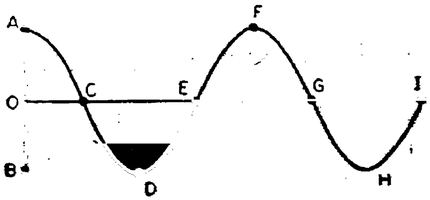
కాంతిస్వభావం (nature of light)

కాంతి ఒక విద్యుత్-అయస్కాంత శక్తి లేదా వికిరణం (radiation)అనీ, అది కంపనంచెందుతూ తరంగరూపంలో ప్రసారం అవుతుందని భౌతికశాస్త్రజ్ఞులు ప్రతిపాదించారు. ఒక బిందువు వద్ద జనించిన కాంతి తరంగాలు అనేక కిరణాల సముదాయంగా అన్ని దిశలలోను ప్రసారమవుతాయి. ప్రసరణ దిశలు సమాంతరంగా ఉన్న కాంతి కిరణాల సముదాయాన్ని కాంతి పుంజం (beam of light) అంటారు. హైజెన్స్ (Huygens) ప్రతిపాదించిన తరంగ సిద్ధాంతం (wave theory) ప్రకారం ఒక కాంతి కిరణం ప్రసరించేటప్పుడు జనించే కంపనాలు (vibrations) ఆ కిరణం ప్రసరణ దిశకు (direction of propagation) లంబకోణంలో ఉంటాయి. అంటే కాంతి కిరణం కంపన దిశలు ప్రసరణ దిశకు లంబంగా ఉంటాయన్నమాట. ఒక సాధారణ కాంతి కిరణం ప్రసరించేటప్పుడు అది దాని ప్రసరణ దిశకు లంబంగా ఉండే ఎన్నోదిశలలో కంపనం చెందుతూ ఉంటుంది. పటం 8.1 లో OI సరళరేఖ కిరణ ప్రసరణ దిశను, దానికి లంబంగా ఉన్న AOB సరళరేఖ కాంతికిరణం కంపన దిశ (direction of vibration) ను సూచిస్తాయి. ప్రసరణ దిశకు అత్యధిక దూరంలో, తరంగ మార్గం పై వైపున ఉండే A,F వంటి బిందువులను శృంగాలు (crests) అనీ, కిందివైపున ఉండే D,H వంటి బిందువులను ద్రోణులు (troughs) అనీ అంటారు. ప్రసరణ దిశకూ, శృంగం లేదా ద్రోణికి మధ్య ఉండే లంబదూరాన్ని (AO లేదా OBను) కంపన పరిమితి (amplitude) అంటారు. ఒక నిర్దిష్ట సమయంలో ఒక బిందువు కాంతితరంగంలో ఉన్న స్థానాన్ని ఆబిందువు దశ (phase) అంటారు. కాంతి తరంగంలో సర్వసమ లేదా సదృశ స్థానాలలో ఉన్న బిందువులన్నీ ఒకే దశకు చెందుతాయి. పటం 8.1 లో C,G బిందువులు ఒక దశకు, A,F బిందువులు వేరొక దశకు,D,H బిందువులు మరొక దశకు చెందుతాయి. కాంతి తరంగంలో సదృశ స్థానాలలో ఉండి ఒకే దిశలో కదులుతూ ఉన్న రెండు బిందువుల మధ్యదూరాన్ని తరంగదైర్ఘ్యం (wave-length) అంటారు. పటంలో చూపిన తరంగం యొక్క తరంగ దైర్ఘ్యం C G లేదా E I అవుతుంది. మరొక విధంగా చెప్పాలంటే తరంగంలో ఒకే దశకు చెంది పక్కపక్కగా ఉన్న రెండు బిందువుల మధ్య దూరం తరంగ దైర్ఘ్యం అన్నమాట. రెండు తరంగాల తరంగదైర్ఘ్యం సమానంగా ఉండి, వాటి శూన్యకంపనపరిమితి (zero amplitude)

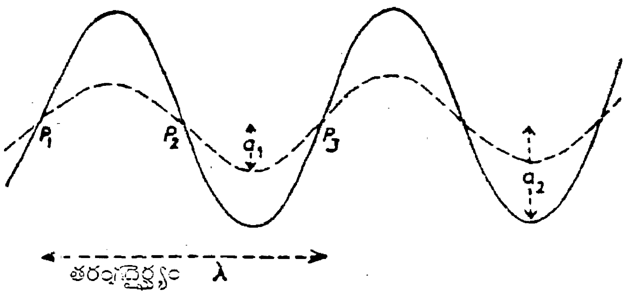
స్థానాలు ఏకీభవిస్తే ఆ రెండు తరంగాలు ఒకే దశలో ఉన్నాయి అని అంటారు. పటం 8.2లో చూపిన రెండు కాంతి తరంగాలలో P_1, P_3 బిందువులు ఒకే దశకు చెందుతాయి. కాని P_1, P_2 బిందువులు దశలలో అర్ధ తరంగదైర్ఘ్యం మేరకు తేడా ఉంది. కాంతి ఒక తరంగదైర్ఘ్యం దూరం ప్రయాణం చేయడానికి పట్టేకాలాన్ని పీరియడ్ (period) అంటారు. కాంతి ఒక ప్రమాణ కాలంలో ఎన్ని తరంగదైర్ఘ్యాల దూరాన్ని ప్రయాణిస్తుందో ఆ సంఖ్యను ఆవృత్తి (frequency) అనీ, కాంతి ప్రమాణ కాలంలో ప్రయాణించే దూరాన్ని కాంతి వేగం (velocity of light) అనీ అంటారు. ఒక కాంతి కిరణం తరంగ దైర్ఘ్యం (λ- లామ్డా), పీరియడ్ (T), ఆవృత్తి (f), వేగం (V), ల కున్న సంబంధాన్ని కింది సమీకరణల ద్వారా సూచించవచ్చు.

$$V = \frac{\lambda}{T} \text{ లేదా } V = f\lambda$$

కాంతి వర్ణం ఆకాంతి కిరణం తరంగ దైర్ఘ్యం మీద ఆధారపడి ఉంటుంది. నీలలోహిత (violet) వర్ణం కాంతి తరంగదైర్ఘ్యం 0.00039 మి.మీ లేదా 390 mμ, అరుణ (red) వర్ణం కాంతి తరంగ దైర్ఘ్యం 0.00076 మి.మీ. లేదా 760 mμ ఉంటాయి. శ్వేత కాంతి లేదా సాధారణ కాంతి ఈ రెండు తరంగదైర్ఘ్యాల అవధులలో ఉన్న వేరు వేరు తరంగదైర్ఘ్యాలు గల విభిన్న కాంతులతో కూడుకొని ఉంటుంది. కేవలం ఒక తరంగదైర్ఘ్యం గల కిరణాలతో కూడికొని ఉన్న కాంతిని ఏకవర్ణ కాంతి (monochromatic light) అంటారు. కాంతి తీవ్రత (intensity) సాధారణంగా కంపన పరిమితి వర్గానికి (square of amplitude) అనుపాతంలో ఉంటుంది.



పటం 8.1 కాంతి తరంగం



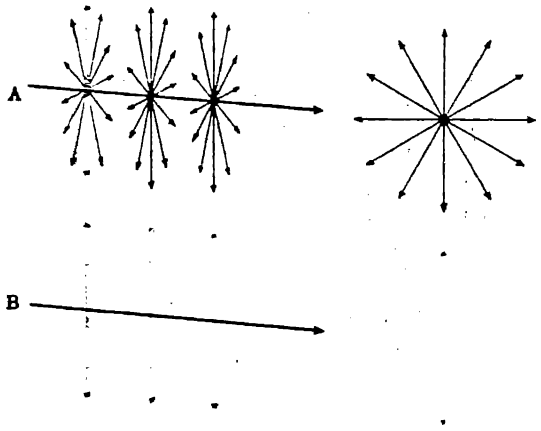
పటం 8.2 దశాభేదాలు, కంపన పరిమితులను చూపే తరంగ రూపాలు

తరంగ ఉపరితలం (wave surface), తరంగాగ్రం (wave front)

ఒక కాంతి మూలం (source of light) నుంచి కాంతి కిరణాలు అన్ని దిశలలోను ప్రసరిస్తాయి అనుకుంటే ఒక ప్రమాణకాలంలో, ఉదాహరణకు ఒక సెకన్‌లో, కాంతి కిరణాలు అన్ని దిశలలోను కొంత దూరం ప్రయాణించి ఉంటాయి. కాంతి కిరణాలు అన్ని దిశలలో ఈ ప్రమాణకాలంలో చేరిన స్థానాలను కలుపుతూ ఒక ఉపరితలాన్ని రూపొందిస్తే ఆ ఉపరితలాన్ని తరంగ ఉపరితలం అంటారు. కాంతి మూలస్థానం ద్వారా పోయే ఒక సమతలంలో ఉండే ఈ ఉపరితలం ఛేదాన్ని తరంగాగ్రం అంటారు. తరంగ ఉపరితలం, తరంగాగ్రాల ఆకృతులు వివిధ దిశలలో కాంతి వేగం పై ఆధారపడి ఉంటాయి. అన్ని దిశలలో కాంతి వేగం సమానంగా ఉంటే ప్రమాణ కాలంలో కాంతి కిరణాలు అన్ని దిశలలో సమాన దూరాలు ప్రయాణిస్తాయి కాబట్టి తరంగ ఉపరితలం గోళాకారంలో ఉంటుంది; తరంగాగ్రం వృత్తం ఆకారంలో ఉంటుంది. కాంతి కిరణాలు వేరువేరు దిశలలో వేరు వేరు వేగాలతో ప్రయాణిస్తే తరంగ ఉపరితలం గోళాకారంలో కాక సాధారణంగా దీర్ఘగోళం (ellipsoid) ఆకారంలోను, తరంగాగ్రం చాలా వరకు దీర్ఘ వృత్తం (ellipse) అకారంలోను ఉంటాయి.

సాధారణ కాంతి (ordinary light), ధ్రువిత కాంతి (polarized light)

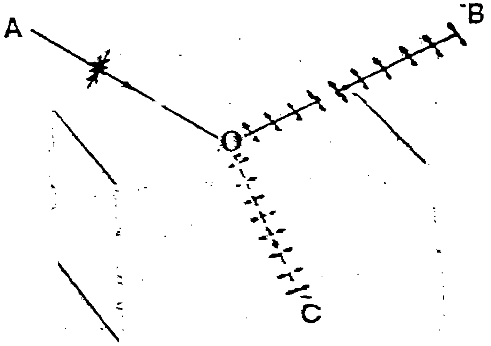
కాంతి ప్రసరించేటప్పుడు కంపనాలు ప్రసరణ దిశకు లంబంగా సంభవిస్తాయని మొదట్లో చెప్పాము. సాధారణ కాంతిలో కంపనాలు పటం 8.3లోని Aలో చూపినట్లు కాంతి కిరణానికి



పటం 8.3 కాంతిధ్రువకరణం

లంబంగా ఉన్న ఒక సమతలంలోని అన్ని దిశలలోను సంభవిస్తాయి. కాంతి కంపనాలు ఈ సమతలంలోని ఒక దిశకు మాత్రమే పరిమితమైనప్పుడు ఆకాంతిని ధ్రువిత కాంతి (polarized light) లేదా సమతలధ్రువిత కాంతి (plane polarized light) అంటారు. పటం 8.3లోని Bలో కంపనాలన్నీ కాగితపు సమతలంలో ఉన్నాయి. కాంతి ఈ సమతలంలో ధ్రువితమైనదని అంటారు. ఈ సమతలాన్ని కంపనసమతలం (plane of vibration) అంటారు. ధ్రువిత కిరణపు ప్రసరణ దిశ, కంపన దిశ ఈ సమతలంలో ఉంటాయి. సాధారణ కాంతి యొక్క అతిక్లిష్టమైన కంపనాలను

ఒక నిర్దిష్టమైన దిశలో లేదా సమతలంలో సంభవించే కంపనాలుగా మార్చే ప్రక్రియను ధ్రువకరణ (polarization) అంటారు. ఒక యానకంలోకి సాధారణ కాంతి కిరణం ప్రవేశించినప్పుడు, ఆ యానకం ఉపరితలం వద్ద రూపొందే పరావర్తన, వక్రీభవన కిరణాలు రెండూ పాక్షికంగా ధ్రువకరణ చెంది ఉంటాయి (పటం 8.4). అంటే సాధారణ కాంతి కిరణాలు పరావర్తన, వక్రీభవన ప్రక్రియల ద్వారా కొంతమేరకు ధ్రువకరణం చెందుతాయి.



పటం 8.4 పరావర్తనం, వక్రీభవనం వల్ల కాంతి ధ్రువకరణ చెందడం

AO సాధారణ కాంతి కిరణం

OB పరావర్తన చెందిన కిరణం

OC వక్రీభవనం చెందిన కిరణం

సమగతిక (isotropic), అసమగతిక (anisotropic) పదార్థాలు

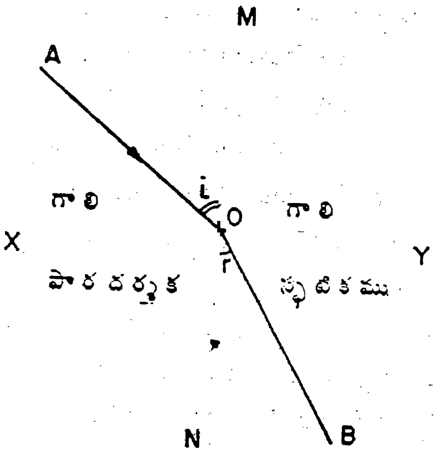
ఒక పదార్థంలో కాంతి అన్ని దిశలలోను ఒకే వేగంతో ప్రసారమైతే ఆపదార్థాన్ని సమగతిక పదార్థం (isotropic substance) అంటారు. అలాకాక పదార్థంలో కాంతి వేరువేరు దిశలలో వేరువేరు వేగాలతో ప్రసారమైతే ఆ పదార్థాన్ని అసమగతిక పదార్థం (anisotropic substance) అంటారు. శూన్యం, వాయు పదార్థాలు, ద్రవ పదార్థాలలో చాలా భాగం, అస్ఫాటిక ఘనపదార్థాలు, సమాక్ష వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలు సమగతిక పదార్థాల కిందికి వస్తాయి. సమాక్ష వ్యవస్థ మినహా మిగిలిన స్ఫటిక వ్యవస్థలకు చెందిన స్ఫటికాలు అసమగతిక పదార్థాల కిందికి వస్తాయి. సమగతిక పదార్థాలలో తరంగ సమతలం గోళాకారంలోను, తరంగ అగ్రం వృత్తాకారంలోను ఉంటాయి. అసమగతిక పదార్థాలలో కాంతి వేగం దిశను బట్టి క్రమంగా మారుతుంది కాబట్టి వీటిలో తరంగ సమతలం దీర్ఘగోళాకారంలోను, తరంగ అగ్రం చాలా వరకు దీర్ఘవృత్తాకారంలోను ఉంటాయి.

సమగతిక పదార్థాలలో కాంతి ప్రసరణ
(Propagation of light through isotropic substances)

కాంతి పరావర్తనం (reflection), వక్రీభవనం (refraction)

కాంతి తరంగాలు ఒక సమగతిక యానకం నుంచి మరొక సమగతిక యానకంలోకి ప్రవేశించేటప్పుడు ఆ యానకాల సరిహద్దు తలంవద్ద ఆకాంతిలో కొంత భాగం మొదటి యానకంలోకి పరావర్తనం చెందుతుంది, మరి కొంత భాగం రెండవ యానకంలోకి ప్రవేశిస్తుంది.

సాధారణంగా వేరువేరు యానకాలలో కాంతి వేగం వేరు వేరుగా ఉంటుంది కాబట్టి, కాంతి రెండవ యానకంలోకి ప్రవేశించినప్పుడు దాని వేగం పెరగవచ్చు లేదా తగ్గవచ్చు. దీని వల్ల కాంతి ప్రసరణ దిశలో మార్పు వస్తుంది. దీనిని వక్రీభవనంఅనీ, దీనికి కారణమైన యానక ధర్మాన్ని ప్రతివర్తనం (refringence) అనీ అంటారు. పటం 8.5లో గాలిలో నుంచి ఒక పారదర్శక సమగతిక స్ఫటికంలోకి ప్రవేశించిన కాంతి పొందే వక్రీభవనాన్ని చూడవచ్చు. స్ఫటిక ఉపరతలానికి లంబంగా ఉండే కిరణాలు (incident rays) తప్ప మిగిలిన అన్ని కిరణాలు వక్రీభవనం చెందుతాయి. పటంలో XOY స్ఫటికం ఉపరితలాన్ని, అంటే గాలి, స్ఫటికం ఈ రెండు యానకాల మధ్య సరిహద్దు తలాన్ని, AO పతన కిరణాన్ని, OB వక్రీభవన కిరణాన్ని, MON స్ఫటికం ఉపరితలానికి లంబాన్ని, AOM కోణం లేదా 'i' పతనకోణాన్ని, NOB కోణం లేదా 'r' వక్రీభవన కోణాన్ని సూచిస్తాయి. వక్రీభవన నియమం (law of refraction) ప్రకారం ఏవైనా రెండు యానకాలకు సంబంధించి Sin i / Sin r స్థిరంగా ఉంటుంది. ఈ స్థిరాంకాన్ని వక్రీభవన గుణకం (refractive index) అంటారు. దీనిని 'n' గా సూచిస్తారు. స్ఫటికాల ప్రకాశ ధర్మాల అధ్యయనంలో వక్రీభవన గుణానికి ఎంతో ప్రాధాన్యం ఉంది. రెండు పదార్థాల వక్రీభవన గుణకాలను ఒక దానితో ఒకటి పోల్చడానికి ఏదో ఒక యానకాన్ని నిర్దేశక యానకం (medium of reference) గా ఎంచుకోవాలి. సాధారణంగా గాలిని నిర్దేశక యానకంగా ఎంచుకొంటారు. గాలి వక్రీభవన గుణకం 1 (ఒకటి).



పటం 8.5 కాంతి వక్రీభవనం

ఒక యానకం వక్రీభవన గుణకానికి, ఆయానకంలో కాంతి వేగానికి సంబంధం ఉంది. ఉదాహరణకు కాంతివేగం గాలిలో υ_a, యానకంలో υ_m అయితే $\dfrac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r} = \dfrac{\upsilon_a}{\upsilon_m}$ అని నిరూపించవచ్చు. అంటే ఆయానకం వక్రీభవన గుణకం గాలిలో, యానకంలో కాంతి వేగాల నిష్పత్తికి సమానమన్నమాట. కాంతివేగం ఒక యానకంలో υ_1 మరొక యానకంలో υ_2 అయితే వాటి వక్రీభవన గుణకాలు వరసగా $n_1 = \dfrac{\upsilon_a}{\upsilon_1}$, $n_2 = \dfrac{\upsilon_a}{\upsilon_2}$ అవుతాయి. అందువల్ల

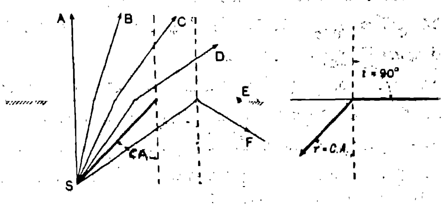
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\upsilon_a / \upsilon_1}{\upsilon_a / \upsilon_2} = \frac{\upsilon_2}{\upsilon_1}$$ అవుతుంది.

అంటే రెండు యానకాల వక్రీభవన గుణకాలు వాటిలో కాంతివేగాలకు విలోమానుపాతంలో (inverse proportion) ఉంటాయని తెలుస్తుంది.

అంతేకాకుండా ఏదైనా ఒకయానకం వక్రీభవన గుణకం కాంతి వర్ణంమీద ఆధారపడి ఉంటుంది. తరంగదైర్ఘ్యం తగ్గేకొద్దీ వక్రీభవన గుణకం పెరుగుతుంది. అందువల్ల వయొలెట్ వర్ణకాంతికి చెందిన వక్రీభవన గుణకం అరుణ వర్ణ కాంతికి చెందిన వక్రీభవన గుణకం కంటె అధికంగా ఉంటుంది.

సంపూర్ణ పరావర్తనం (total reflection)

సాధారణంగా వక్రీభవన గుణకాన్ని విరళ (rarer) యానకం (తక్కువ వక్రీభవన గుణకం గల యానకం) నుంచి సాంద్ర (denser) యానకం (ఎక్కువ వక్రీభవన గుణకం గల యానకం) లోకి అంచనా వేస్తారు. ఇటువంటి సందర్భంలో, అంటే విరళ యానకంలో నుంచి సాంద్రయానకంలోనికి కాంతి ప్రవేశించేటప్పుడు వక్రీభవన కిరణం లంబరేఖ వైపునకు వాలుతుంది. అలాకాక కాంతి సాంద్రయానకంలో నుంచి విరళయానకంలోకి ప్రవేశిస్తే వక్రీభవన కిరణం లంబరేఖ నుంచి దూరాంగా వాలుతుంది. పటం 8.6లో కిందవైపున ఉన్న సాంద్రయానకం లోని కాంతి మూలం (S) నుంచి పైవైపున ఉన్న విరళ యానకం వైపునకు ప్రసరిస్తున్న A,B,C,D,E,F కిరణాలను చూడవచ్చు. వీటిలో A కిరణం యానకాల మధ్య సరిహద్దు తలాన్ని లంబకోణంలో తాకుతున్నది. కాబట్టి దానిపతనకోణం సున్న అవుతుంది. అందువల్ల దాని వక్రీభవణకోణం కూడా సున్న అవుతుంది. ఈ కిరణం వక్రీభవనం చెందకుండా రెండవ యానకంలోకి ప్రవేశిస్తుంది. B,C,D కిరణాలు కింది సాంద్రయానకంలో నుంచి పై విరళ యానకంలోకి ప్రవేశించినప్పుడు అవి క్రమంగా లంబరేఖ నుండి దూరంగా వక్రీభవనం చెందుతాయి. ఈ క్రమంలో చూచినప్పుడు E వంటి ఒక కిరణం వక్రీభవనం చెంది యానకాల సరిహద్దు తలాన్ని తాకుతూ పోతుంది, కాని పై యానకంలోకి ప్రవేశించదు. ఈ కిరణం వక్రీభవన కోణం 90^0 ఉంటుంది. ఈ కిరణం యొక్క పతనకోణం కంటె ఎక్కువ పతనకోణం గల ఏ ఇతర కిరణమైనా, ఉదాహరణకు F, విరళ యానకంలోకి ప్రవేశించకుండా సరిహద్దు తలం నుంచి సాంద్రయానకంలోకి పరావర్తనం చెందుతుంది. దీనిని సంపూర్ణ పరావర్తనం అంటారు. E కిరణం పతన కోణాన్ని సందిగ్ధకోణం (critical angle) అంటారు. సందిగ్ధకోణం కన్న ఎక్కువ కోణంలో సరిహద్దుతలాన్ని చేరే కిరణాలన్నీ సంపూర్ణ పరావర్తనం చెందుతాయి.



పటం 8.6 సంపూర్ణ పరావర్తనం, సందిగ్ధకోణం

కాంతి విక్షేపణం (dispersion of light)

శ్వేత కాంతి ఒక యానకంలోనుంచి మరొక యానకంలోకి ప్రవేశించినప్పుడు దానిలోని వివిధ తరంగదైర్ఘ్యాలను చూపే కిరణాలు వేరు వేరుగా వక్రీభవనం చెందడం వల్ల ఆ కిరణాల వక్రీభవన కోణాలలో ఎంతో కొంత తేడా ఉండవచ్చు. ఏదైనా యానకంలో అనేక వర్ణాలకు చెందిన కిరణాల కాంతిపుంజం వక్రీభవనం వల్ల ఆయా వర్ణాలకు చెందిన కాంతి కిరణాలుగా విడిపోవడాన్ని విక్షేపణం అంటారు. శ్వేతకాంతి త్రికోణా కారపు గాజుపట్టకంలో వక్రీభవనం చెందడం వల్ల నీలలోహిత వర్ణం నుంచి అరుణ వర్ణం వరకు ఏడు వర్ణాలు గల కిరణాలుగా విక్షేపణం చెందుతుంది.

కాంతి శోషణం (absorption of light)

కాంతి ఏదైనా స్ఫటికంపైన పతనమైనప్పుడు లేదా దానిలోకి ప్రసరించేటప్పుడు ఆకాంతిలో కొంతభాగం పరావర్తనం, కొంతభాగం వక్రీభవనం చెందినట్లే ఆకాంతిలో ఎంతో కొంత భాగం శోషణం చెందుతుంది. శోషణ చెందే కాంతి పరిమాణం స్ఫటికం స్వభావం మీద, దానిలో కాంతి ప్రయాణించిన దిశ, దూరాల మీద ఆధారపడి ఉంటుంది. కాంతిని ఎంత మాత్రం శోషణం చేయని స్ఫటికాలను శ్వేతవర్ణ లేదా వర్ణరహిత (colourless) స్ఫటికాలు అంటారు. కాంతిని పూర్తిగా శోషణం చేసిన స్ఫటికాలను కృష్ణ వర్ణ (black) స్ఫటికాలు అంటారు. శ్వేత కాంతిలోని వివిధ తరంగదైర్ఘ్యాలు గల అంశాలను అసమానంగా శోషణం చేసే స్ఫటికాలు అవి ఏతరంగదైర్ఘ్యంగల కాంతి కిరణాలను ప్రసారం చేస్తాయో వాటి వర్ణాన్ని చూపుతాయి. పరావర్తిత కాంతికి కూడా ఇదే వివరణ వర్తిస్తుంది.

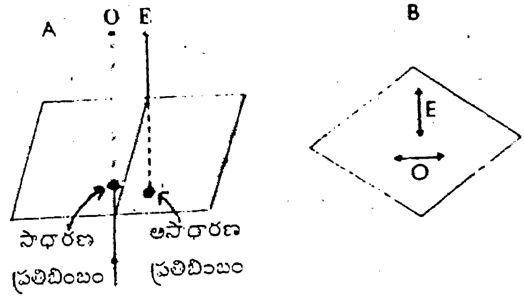
అసమగతిక స్ఫటికాలలో కాంతి ప్రసరణ
(Propagation of light through anisotropic crystals)

ద్వివక్రీభవనం (double refraction), ద్విప్రతివర్తనం (birefringence)

ముందు వివరించినట్లు సమగతిక పదార్థాలలో కాంతి అన్ని దిశలలోను ఒకే విధంగా ప్రసరిస్తుంది కాబట్టే ఆ పదార్థాల వక్రీభవనం గుణకం అన్ని దిశలలోను ఒకే విలువతో ఉంటుంది. ఇటువంటి పదార్థాలలోకి ప్రవేశించి కాంతి కిరణం వక్రీభవనం చెందినప్పటికీ ఒక కిరణంగానే ప్రసారమవుతుంది. కాని అసమగతిక పదార్థాలలో దీనికి భిన్నంగా జరుగుతుంది. ఒక సమగతిక పదార్థం లేదా యానకం నుంచి అసమగతిక పదార్థంలోకి ప్రవేశించే కాంతి కిరణం వక్రీభవనం వల్ల రెండు కిరణాలుగా చీలుతుంది. అసమగతిక పదార్థాలలో కనిపించే ఈ దృగ్విషయాన్ని ద్వి-వక్రీభవనం అంటారు. దీనిని త్రికోణ వ్యవస్థకు చెందిన కేల్సైట్ ఖనిజపు పారదర్శక ప్రభేదమైన ఐస్‌లాండ్ స్పార్ (iceland spar)లో స్పష్టంగా చూడవచ్చు.

ఐస్‌లాండ్ స్పార్ యొక్క త్రికోణ సమచతుర్భుజ పార్శ్వీకరూప స్ఫటికాన్నొక దానిని తీసుకొని దానిని కాగితంమీద గుర్తించిన ఒక చుక్కపై ఉంచి చూస్తే ఆ చుక్క ప్రతిబింబాలు రెండు కనిపిస్తాయి. స్ఫటికాన్ని భ్రమణం చేసి చూస్తే రెండు ప్రతిబింబాలలో ఒకటి స్థిరంగా ఉండటం, రెండవ ప్రతిబింబం స్థిరంగా ఉన్న దాని చుట్టూ తిరగడం గమనించవచ్చు. ఐస్‌లాండ్ స్పార్ స్ఫటికంలోకి ప్రవేశించిన కిరణం భిన్న వక్రీభవన దిశలు, వేగాలు గల రెండు కిరణాలుగా చీలుతుంది కాబట్టే చుక్క ప్రతిబింబాలు రెండు కనిపిస్తాయి (పటం 8.7A). ద్వివక్రీభవనం

వల్ల రూపొందిన ఈ రెండు కిరణాలు ధ్రువణం చెంది ఉండటమేకాక, వీటి కంపన దిశలు ఒకదానికొకటి లంబంగా ఉంటాయి (పటం 8.7B). పైన చెప్పిన స్థిర ప్రతిబింబానికి సంబంధించిన కిరణం వక్రీభవన నియమాలకు అనుగుణంగా సమగతిక ధర్మం చూపే పదార్థంలో కాంతికిరణం ఏ విధంగా ప్రవర్తిస్తుందో ఆవిధంగా ప్రవర్తిస్తుంది కాబట్టి దానిని సాధారణ కిరణం (ordinary ray) అనీ, దానివల్ల ఏర్పడిన ప్రతిబింబాన్ని సాధారణ ప్రతిబింబం అనీ, అస్థిరబిందువుకు సంబంధించిన కిరణం సాధారణ వక్రీభవన నియమాలకు అనుగుణంగా వక్రీభవనం చెందదు కనక దానిని అసాధారణ కిరణం (extra - ordinary ray) అనీ, దాని వల్ల ఏర్పడిన ప్రతిబింబాన్ని అసాధారణ ప్రతిబింబం అనీ అంటారు. పటం 8.7లో ఈ రెండు కిరణాల మార్గాలను చూడవచ్చు. కాంతి స్ఫటికం కింది తలానికి లంబంగా పతనం చెందినప్పటికీ అసాధారణ కిరణం ఆతలం వద్ద వక్రీభవనం చెంది, స్ఫటికం నుంచి బయట్నకు వచ్చేటప్పుడు కూడా తిరిగి వక్రీభవనం చెందడం గమనించవచ్చు. సాధారణ, అసాధారణ కిరణాల కంపన దిశలు ఒక దానికొకటి లంబంగా ఉండటమే కాక, వాటి వేగాలలో కూడా తేడా ఉంటుంది. కేల్సైట్‌లో అసాధారణ కిరణం సాధారణ కిరణంకన్న వేగంగా ప్రయాణం చేస్తుంది. అసాధారణ కిరణం కంపన దిశలో వక్రీభవన గుణకం సాధారణ కిరణ కంపనదిశలోని వక్రీభవన గుణకం కంటే తక్కువగా ఉంటుంది. వక్రీభవన గుణకాలలోని ఈవ్యత్యాసం ఐస్‌లాండ్ స్పార్‌లో అత్యధికంగా ఉండటంవల్ల రెండు వక్రీభవన కిరణాలు దూరంగా ఉండి, ద్వి-వక్రీభవన ధర్మం అత్యంత స్పష్టంగా కనిపిస్తుంది. స్ఫటికాలు చూపే ద్వివక్రీభవన తీవ్రతను లేదా స్థాయిని ద్విప్రతివర్తనం (birefringence) అంటారు. దీనివి వక్రీభవన గుణకాల వ్యత్యాసం ద్వారా సూచిస్తారు.



పటం 8.7 **A : సాధారణ (O), అసాధారణ (E) కిరణాల మార్గాలు**
B : సాధారణ, అసాధారణ కిరణాల కంపనదిశలు

పైన చెప్పినట్లు కేల్సైట్ ఖనిజంలో అసాధారణ కిరణం వేగం సాధారణ కిరణం వేగంకన్న ఎక్కువగా ఉంటుంది. కాని క్వార్ట్జ్ ఖనిజంలో దీనికి వ్యతిరేకంగా అంటే అసాధారణ కిరణం వేగం సాధారణ కిరణం వేగం కంటే తక్కువగా ఉంటుంది. ఖనిజాల ఈ ధర్మాన్ని ఖనిజం ప్రకాశ సంజ్ఞ ద్వారా తెలియజేస్తారు. అసాధారణ కిరణం వేగం అధికంగా ఉండే కేల్సైట్ వంటి ఖనిజాలు ప్రకాశ సంజ్ఞ ఋణాత్మకం (negative) అనీ, అసాధారణ కిరణం వేగం తక్కువగా ఉండే క్వార్ట్జ్ వంటి ఖనిజాల ప్రకాశసంజ్ఞ ధనాత్మకం (positive) అనీ అంటారు.

అసమాక్ష వ్యవస్థలకు చెందిన ప్రకృతిసిద్ధ స్ఫటికాలు అన్నీ ద్వివక్రీభవన ధర్మం చూపినప్పటికీ ఐస్‌లాండ్ స్పార్ మాదిరిగా అవి అధిక పరిమాణంగల పారదర్శక స్ఫటికాలుగా లభించకపోవడం వల్ల, వాటి సాధారణ, అసాధారణ కిరణాల ప్రసరణ మార్గాల మధ్య దూరం అత్యల్పంగా ఉండటం వల్ల, అంటే వాటి ద్విప్రతివర్తనం తక్కువగా ఉండటం వల్ల, వాటి ద్వివక్రీభవన ధర్మాలను నమూనాలలోగాక, సూక్ష్మరూప పరిశీలనా విధానాల వల్ల మాత్రమే అధ్యయనం చేయడానికి వీలు అవుతుంది.

ఏకప్రకాశాక్ష (uniaxial), ద్విప్రకాశాక్ష (biaxial) స్ఫటికాలు

పైన వివరించిన ఐస్‌లాండ్ స్పార్ ద్వివక్రీభవన ధర్మం స్ఫటికంలోని ఒక దిశలో మినహా మిగిలిన అన్ని దిశలలోను కనిపిస్తుంది. ఈ దిశ c - అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. ఈ దిశలో ప్రసారమైన కాంతి కిరణం ద్వివక్రీభవనం చెందదు. అందువల్ల ఒక ప్రతిబింబం మాత్రమే కనిపిస్తుంది. స్ఫటికంలో ద్వివక్రీభవనం సంభవించని ఈ దిశను ప్రకాశాక్షం (optic axis) అంటారు. అసమగతిక స్ఫటికాలలో ఇటువంటి ప్రకాశాక్షాలు ఒకటి లేదా రెండు ఉండవచ్చు. చతుష్కోణ, షట్కోణ, త్రికోణ వ్యవస్థలకు చెందిన స్ఫటికాలలో ఒక ప్రకాశాక్షం మాత్రమే ఉంటుంది. ఇది c - అక్షంతో ఏకీభవిస్తుంది. వీటిని ఏకప్రకాశాక్ష స్ఫటికాలు (uniaxial crystals) అంటారు. విషమాక్ష, ఏకనత, త్రినత వ్యవస్థలకు చెందిన స్ఫటికాలలో రెండు ప్రకాశాక్షాలు ఉంటాయి.. వీటిని ద్విప్రకాశాక్ష స్ఫటికాలు (biaxial crystals) అంటారు. ఈ అక్షాలు స్ఫటికాల స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలతో ఏకీభవించవు. ద్విప్రకాశాక్ష స్ఫటికాలలో ప్రకాశాక్షాలు ఉండే సమతలాన్ని ప్రకాశాక్ష సమతలం (optc axial plane) అనీ, ప్రకాశాక్షాల మధ్య కోణాన్ని ప్రకాశాక్షకోణం (optic axial angle) అనీ అంటారు.

సమగతిక స్ఫటికాలలో కాంతి అన్ని దిశలలో ఒకే వేగంతో ప్రయాణం చేస్తుంది కాబట్టి, తరంగ ఉపరితలాలు గోళాకారంలో ఉండి, వాటి అన్ని అక్షాలు సమానంగా ఉంటాయి కాబట్టి సమగతిక స్ఫటికాలను సమప్రకాశాక్ష (isoaxial) స్ఫటికాలు అని కూడా అంటారు.

పైన వివరించిన ప్రకాశధర్మాలు ఆధారంగా స్ఫటికాలను కింది వర్గాలుగా విభజించవచ్చు.

స్ఫటికాలు

- సమగతిక స్ఫటికాలు లేదా సమప్రకాశాక్ష స్ఫటికాలు (సమాక్ష వ్యవస్థకు చెందినవి)
- అసమగతిక స్ఫటికాలు
  - ఏకప్రకాశాక్ష స్ఫటికాలు (చతుష్కోణ, షట్కోణ, త్రికోణ వ్యవస్థలకు చెందినవి)
  - ద్విప్రకాశాక్ష స్ఫటికాలు (విషమాక్ష, ఏకనత, త్రినత వ్యవస్థలకు చెందినవి)

కాంతి విక్షేపణం (dispersion of light)

స్ఫటికాలలో ప్రసరించే ఏకవర్ణకాంతి తరంగ దైర్ఘ్యాలలోని మార్పులవల్ల స్ఫటికాల ప్రకాశ ధర్మాలలో మార్పులు వస్తే ఆ స్ఫటికాలు విక్షేపణాన్ని చూపుతున్నాయని తెలుస్తుంది. అసమగతిక

స్ఫటికాలలో ఏకవర్ణకాంతి తరంగదైర్ఘ్యాలలోని మార్పుల వల్ల సాధారణ, అసాధారణ కిరణాల వక్రీభవన గుణకాలలోను, ద్విప్రతివర్తనాలలోను, ద్విప్రకాశాక్ష స్ఫటికాలలో ప్రకాశాక్ష కోణంలోను కూడా మార్పులు రావచ్చు.

కాంతిశోషణం (absorption of light)

వర్ణ స్ఫటికాలలోకి శ్వేత కాంతి కిరణాలు, అంటే నీలలోహిత వర్ణం నుంచి అరుణ వర్ణంవరకు అన్ని తరంగదైర్ఘ్యాలకు చెందిన కంపనాలు గల కాంతి కిరణాలు, ప్రవేశించి అవి స్ఫటికం ద్వారా ప్రసారమయ్యేటప్పుడు వాటిలో కొన్ని తరంగదైర్ఘ్యాలు గల కంపనాలు శోషణ చెందటం వల్ల బయటకు వచ్చేకాంతికి నిర్దిష్టమైన వర్ణం ఉంటుంది. అది స్ఫటికానికి నిర్దిష్టమైన వర్ణాన్ని ఆపాదిస్తుంది. గాఢ వర్ణాలుగల కొన్ని ఖనిజాలలో శోషణం పరిమాణం, స్వభావం కాంతి కంపన దిశపై ఆధారపడి ఉంటాయి. ఉదాహరణకు ఏక ప్రకాశాక్ష స్ఫటికాల నుంచి బయటకు వచ్చే సాధారణ, అసాధారణ కిరణాలు భిన్నమైన వర్ణాలలో ఉండవచ్చు. అంటే ఈ కిరణాల కంపన దిశలలో స్ఫటికం వర్ణంలో మార్పుకనిపిస్తుంది. దీనిని వర్ణ పరివర్తన (pleochroism) అంటారు. ఏక ప్రకాశాక్ష స్ఫటికాలలో వర్ణ పరివర్తన ప్రధానంగా రెండు దిశలలోను, ద్విప్రకాశాక్ష ఖనిజాలలో మూడు దిశలలోను కనిపిస్తుంది. వర్ణ పరివర్తనలోని ఈ రీతులను వరుసగా ద్వివర్ణత (dichroism), త్రివర్ణత (trichroism) అంటారు.

కాంతి కిరణాల వ్యతికరణం (interference of light rays)

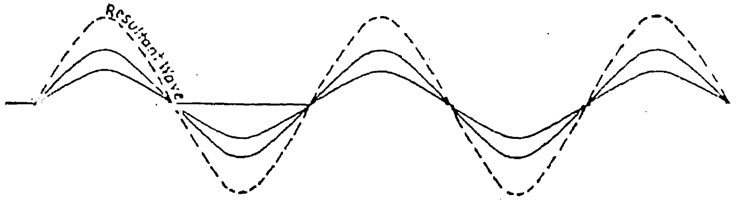
రెండు తరంగాలు ఒకే సమతలంలో కంపనం చెందుతూ ఒకే మార్గంలో ప్రయాణిస్తూ ఉంటే అవి సంయోగం (combination) లేదా వ్యతికరణం (interference) చెంది ఒక కొత్త తరంగాన్ని రూపొందిస్తాయి. ఈ కొత్త తరంగం ధర్మాలు మౌలిక లేదా అంశ తరంగాల (component waves) తరంగ దైర్ఘ్యాలు, పీరియడ్‌లు, కంపన పరిమితులు, దశలపై ఆధారపడి ఉంటాయి. ఏవైనా రెండు అంశ తరంగాలు వ్యతికరణం చెందడం వల్ల రూపొందే కొత్త తరంగాన్ని లేదా ఫలిత తరంగాన్ని (resultant wave) సులభంగా చిత్రీకరించవచ్చు.

అంశ తరంగాలు ఒకే తరంగదైర్ఘ్యం, ఒకే పీరియడ్, ఒకే దశ కలిగి ఉండి కేవలం కంపన పరిమితిలో భేదం చూపితే ఫలిత తరంగం కంపన పరిమితి అంశతరంగాల కంపన పరిమితుల మొత్తానికి సమానంగా ఉంటుంది (పటం 8.8 A). ఇటువంటి వ్యతికరణం వల్ల కాంతి తీవ్రత అధికమవుతుంది.

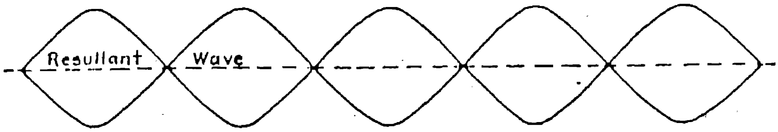
అంశతరంగాలు దశలో మినహా ఇతరత్రా ఒకే రకంగా ఉండి, వాటి దశా భేదం (phase difference) అర్ధతరంగదైర్ఘ్యం ఉన్నప్పుడు ఫలిత తరంగం కంపన పరిమితి సున్న అవుతుంది. అందువల్ల కాంతి ప్రసరణ జరగదు (పటం 8.8 B).

రెండు తరంగాల దశాభేదం అర్ధతరంగదైర్ఘ్యం ఉండి, కంపన పరిమితి అసమానంగా ఉంటే ఫలిత తరంగం కంపన పరిమితి అంశ తరంగాల కంపన పరిమితులలోని తేడాకు లేదా బీజీయ మొత్తానికి (algebraic sum) సమానంగా ఉంటుంది (పటం 8.8 C).

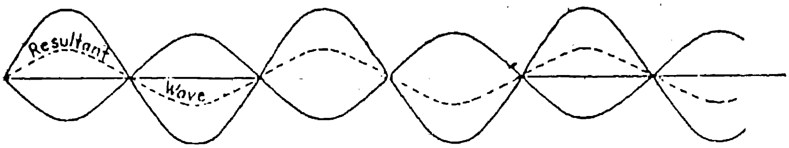
దశాభేదం తరంగదైర్ఘ్యంలో నాలుగోవంతు, లేదా ఎనిమిదోవంతు ఉండి మిగిలిన లక్షణాలలో ఒకే రకంగా ఉన్న రెండు తరంగాల ఫలిత తరంగం కంపన పరిమితి అంశ తరంగాల కంపన పరిమితుల బీజీయ మొత్తానికి సమానంగా ఉంటుంది (పటం 8.8 D,E).



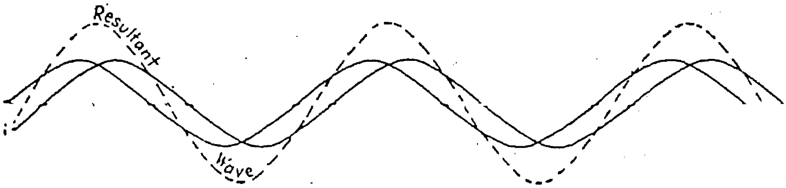
A : కంపన పరిమితిలో భేదం చూపే రెండు తరంగాలు



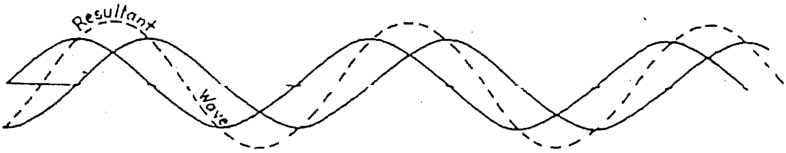
B : ½ తరంగదైర్ఘ్యం దశాభేదం చూపే రెండు తరంగాలు



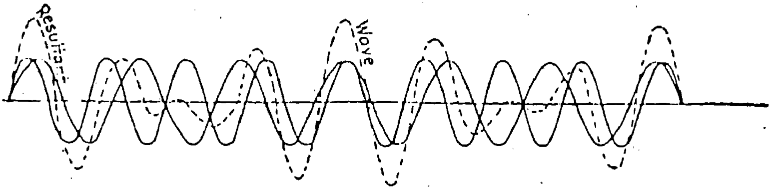
C : అసమాన కంపన పరిమితులు, ½ తరంగదైర్ఘ్యం దశాభేదం చూపే రెండు తరంగాలు



D : ⅛ తరంగదైర్ఘ్యం దశాభేదం చూపే రెండు తరంగాలు



E : ¼ తరంగదైర్ఘ్యం దశాభేదం చూపే రెండు తరంగాలు



F : భిన్న తరంగదైర్ఘ్యాలు గల రెండు తరంగాలు

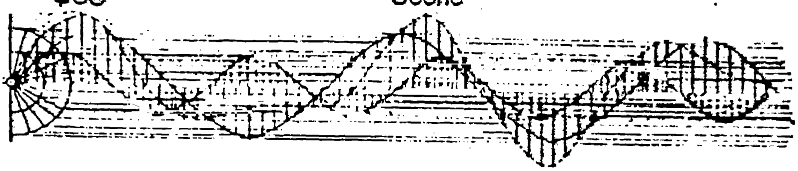
ఫలిత తరంగం విచ్ఛిన్న వక్రరేఖల ద్వారా, అంశతరంగాలు అవిచ్ఛిన్న వక్రరేఖల ద్వారా సూచించబడ్డాయి

పటం 8.8 కాంతి కిరణాల వ్యతికరణం

రెండు తరంగాల కంపన పరిమితి ఒకే రకంగా ఉండి తరంగదైర్ఘ్యాలలో తేడా ఉంటే, వాటి దశాభేదం మార్గం వెంబడి మారుతూ ఉండి, ఫలిత తరంగం కంపన పరిమితిలో మార్పు వస్తుంది. తరంగ దైర్ఘ్యం అనిశ్చితంగా ఉంటుంది (పటం 8.8F).

చివర చెప్పిన మూడు సందర్భాలలో, శ్వేత కాంతిని ఉపయోగించితే, ఆయా ఫలిత తరంగాలకు అనుగుణమైన వర్ణ పటం వర్ణాలు (spectrum colours) కనిపిస్తాయి. వీటిని వ్యతికరణ వర్ణాలు (interference colours) లేదా ధ్రువణ వర్ణాలు (polarization colours) అంటారు.

పైన చెప్పిన విధంగా ఏవైనా రెండు తరంగాల సంయోగం లేదా వ్యతికరణం వల్ల రూపొందే ఫలిత తరంగాన్ని ఆ రెండు తరంగాలను వాటి వాటి తరంగదైర్ఘ్యం, కంపన పరిమితి, దశలకు అనుగుణంగా చిత్రీకరించి వాటి మార్గం వెంబడి వాటి కంపన పరిమితుల బీజీయ మొత్తానికి అనుగుణంగా బిందువులను గుర్తించి, వాటిని కలుపుతూ చిత్రీకరించవచ్చు (పటం 8.9). అంశ తరంగాలు రెండింటికన్నా ఎక్కువ అయినప్పుడు ఫలిత తరంగం రూపం, దాని చిత్రీకరణ క్లిష్టమవుతాయి. శ్వేతకాంతిలో తరంగ దైర్ఘ్యంలో అత్యధిక వైవిధ్యం చూపే తరంగాలు ఎన్నో ఉంటాయి కాబట్టి శ్వేతకాంతి తరంగం అతి జటిలంగా ఉంటుంది. సూర్యుని నుంచి లభించే కాంతితో సహా అన్ని సాధారణ కాంతి తరంగాల రూపాలు జటిలంగానే ఉంటాయి.



పటం 8.9 అంశ తరంగాల లక్షణాలు ఆధారంగా ఫలిత తరంగాన్ని నిర్మించడం

స్ఫటికాల ప్రకాశ దిగ్విన్యాసం (optic orientation of crystals)

స్ఫటికాల ప్రకాశ ధర్మాలకూ వాటి సౌష్ఠవానికి అతి సన్నిహితమైన సంబంధం ఉంటుంది. మూడు స్ఫటిక రేఖీయాక్షాలు సమానంగా ఉండే సమాక్ష వ్యవస్థకు చెందిన స్ఫటికాలలో ఈ మూడు అక్షాలు ప్రధాన సౌష్ఠవాక్షాలు (principal symmetry axes)గా ఉంటాయి. వీటి తరంగాగ్రం అక్షాలు అన్నీ సమానంగా ఉంటాయి. చతుష్కోణ, షట్కోణ, త్రికోణ వ్యవస్థలకు చెందిన స్ఫటికాలలో ఒక ప్రధాన సౌష్ఠవాక్షం అయిన c-అక్షం ప్రకాశాక్షం అవుతుంది. దీనికి లంబంగా ఉండే తరంగాగ్ర అక్షాలు అన్నీ సమానంగా ఉంటాయి. వీటికి మినహా మరి ఏ ఇతర స్ఫటికాలకూ ప్రధాన సౌష్ఠవాక్షం ఉండదు. ఏ ఇతర స్ఫటికాలకూ ఒకే ఒక ప్రకాశాక్షం ఉండదు. విషమాక్ష స్ఫటికాలకు మూడు అసమాన ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షాలు ఉంటాయి. ఇవి స్ఫటికరేఖీయాక్షాలతో ఏకీభవిస్తాయి. ఇవి దీర్ఘగోళాకార తరంగ తలం యొక్క మూడు అసమానాక్షాలకు సమాంతరంగా ఉండటమే కాక వాటితో ఏకీభవించవచ్చు కూడా. ఏకనత స్ఫటికాలలో ఒకే ఒక ద్విరావృత్త సౌష్ఠవాక్షం ఉంటుంది. ఇది దీర్ఘగోళం మూడు అక్షాలలో ఏదో

ఒకదానితో ఏకీభవిస్తుంది. మిగిలిన రెండు అక్షాలు సౌష్ఠవ సమతలంలో ఉంటాయి. (త్రినతస్ఫటికాలలో సౌష్ఠవాక్షాలు, సౌష్ఠవ సమతలాలు అసలు ఉండవు. వీటిలో దీర్ఘగోళం అక్షాలు ఏ స్థానాలలోనైనా ఉండవచ్చు).

ఖనిజాల ప్రకాశధర్మాలు (optical properties of minerals)

ఇప్పటివరకు తెలిసిన ఖనిజాలలో దాదాపు 98 శాతం స్ఫాటికీయ లక్షణాన్ని చూపుతున్నాయి. అందువల్ల విద్యుదయస్కాంత వికిరణాలకు సంబంధించి స్ఫటికాలు ఏ ధర్మాలను చూపుతాయో స్ఫాటికీయ ఖనిజాలు కూడా అవే ధర్మాలను చూపుతాయి. ఖనిజాల ద్వారా కాంతిప్రసారమైనప్పుడు ఆ ఖనిజాలు చూపే ధర్మాలను అధ్యయనం చేయడానికి వాడే ప్రకాశ పరికారాలను (optical instruments) గురించి, ఆ పరికరాల సహాయంతో పరిశీలించదగిన ఖనిజాల ప్రకాశ ధర్మాలను గురించి రాబోయే అధ్యాయాలలో వివరించాం.

ప్రకాశ పరికరాలు- ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శిని
(Optical Instruments - Polarizing Microscope)

స్ఫటికాల లేదా స్ఫాటికీయ ఖనిజాల ప్రకాశ ధర్మాలను అధ్యయనం చేయడానికి ఒక ప్రత్యేక రీతి సూక్ష్మదర్శినిని, దానితో పాటు కొన్ని అనుబంధ ప్రకాశ ఉపకరణాలను (optical accessories) వాడుతారు. ఈ సూక్ష్మదర్శినిని ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శిని (polarizing microscope) లేదా శిలాపరిశీలనాత్మక సూక్ష్మదర్శిని (petrographic/petrological microscope) అంటారు. ఖనిజాలను సూక్ష్మదర్శిని కింద పరిశీలించడానికి ధ్రువిత కాంతి అవసరం. సాధారణ కాంతిని ధ్రువిత కాంతిగా మార్చే ఒక ప్రత్యేక ప్రకాశ భాగం (optical part) ఈ సూక్ష్మదర్శినిలో ఉంటుంది. అందువల్ల దీనిని ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శిని అంటారు. ఇది నిర్మాణ పరంగా జీవశాస్త్ర అధ్యయనంలో వాడే జీవసూక్ష్మదర్శిని మాదిరిగానే ఉంటుంది. కాని పైన చెప్పినట్లు దీనిలో కాంతిని ధ్రువణం చేసే భాగాలు అదనంగా ఉంటాయి.

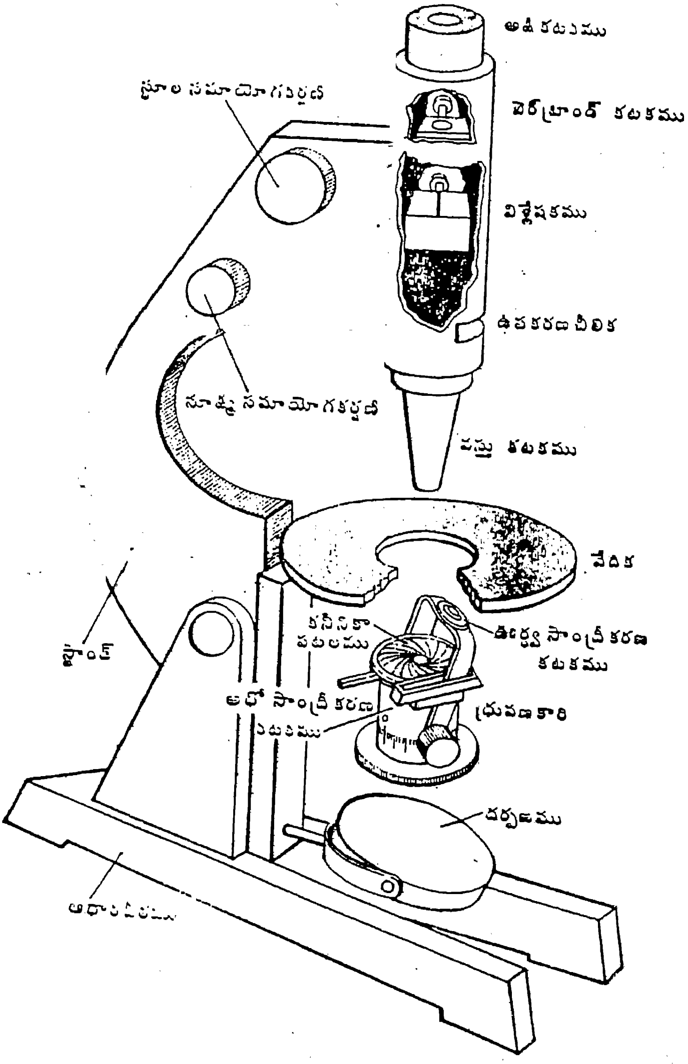
సూక్ష్మదర్శిని అనేది పరిశీలిస్తున్న వస్తువు (object) పరిమాణంకంటె ఎక్కువ పరిమాణంగల ప్రతిబింబాన్ని (image) రూపొందించే విధంగా అమరి ఉన్న కటకాల (lense) కూర్పు లేదా సముదాయం అనిచెప్పవచ్చు. ప్రతి కటకం ఒక పారదర్శక, సజాతీయ, సమగతిక వస్తువు. సాధారణంగా దీనిని గాజుతో చేస్తారు. దీని ఒక పార్శ్వం లేదా రెండు పార్శ్వాలు వక్రతలాలుగా ఉండి ఇది కాంతి కిరణాల మార్గాన్ని మార్చగలుగుతుంది. ఒక ద్వికుంభాకార కటకం సమాంతరంగా ఉన్న కాంతి పుంజం మార్గాన్ని దానిలోని కిరణాలన్నీ ఒక బిందువు వద్ద ఖండించుకొనే విధంగా మారుస్తుంది. కిరణాల ఖండన బిందువును నాభి (focus) అంటారు. స్థూలంగా చెప్పాలంటే సూక్ష్మదర్శినిలో కాంతి మొదట దర్పణం మీదపడి, అక్కడ నుంచి పరావర్తనంచెంది వస్తువుద్వారా, ఆవర్ధనకారక (magnifying) కటకాల ద్వారా పరిశీలకుని కంటిని చేరడం ప్రధాన అంశం. ఈ దృగ్విషయాన్ని సాధ్యం చేసే విధంగా సూక్ష్మదర్శినిలోని వివిధ భాగాలు అమరి ఉంటాయి. ఈ భాగాలలో కొన్ని యాంత్రిక భాగాలు (mechanical parts)గా, కొన్ని ప్రకాశ భాగాలు (optical parts)గా ఉంటాయి. ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శినిలోని వివిధ భాగాలను గురించి, సాధారణ కాంతిని ధ్రువిత కాంతిగా మార్చే ప్రత్యేక ప్రకాశ భాగం నిర్మాణ విధానాన్ని గురించి ఈ అధ్యాయంలో వివరించాం.

ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శిని

ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శినిలోని భాగాలు (parts of polarizing microscope)

ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శినిలో కాంతి ప్రసరించే దిశను సూక్ష్మదర్శిని అక్షం (axis of the microscope) అంటారు. ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శినిలోని ముఖ్యమైన భాగాలను పటం 9.1 లో చూడవచ్చు. దీనిలో లోహంతో చేసిన ఒక బరువైన ఆధారపీఠం గల స్టాండ్ (stand) కు సూక్ష్మదర్శిని గొట్టం (microscope tube), వేదిక (stage), ఉపవేదిక కూర్పు (substage assembly), దర్పణం (mirror) అనే భాగాలు బిగించబడి ఉంటాయి. పరిశీలనా కార్యక్రమంలో సూక్ష్మదర్శిని గొట్టానికి, వేదికకు గల మధ్య దూరాన్ని అవసరానికి తగినట్లు మార్చడానికి, ఆ రెండింటిలో ఏదో ఒక

దానిని సూక్ష్మదర్శిని అక్షానికి సమాంతరంగా పైకి, కిందికి జరపడానికి వీలుగా సమయోగకర్షణిలు (adjustment screws) ఉంటాయి. కొన్ని సూక్ష్మదర్శినులలో వేదిక స్థిరంగా ఉండి సూక్ష్మదర్శిని గొట్టం మాత్రమే పైకి, కిందికి కదిలే ఏర్పాటు ఉంటుంది. అయితే ప్రస్తుత కాలంలో వాడుకలో ఉన్న సూక్ష్మదర్శినులలో సూక్ష్మదర్శిని గొట్టం స్థిరంగా ఉండి వేదిక పైకి, కిందికి కదిలే విధంగా అమరి ఉంటుంది. సూక్ష్మదర్శిని గొట్టాన్ని గాని వేదికను గాని ఎక్కువ దూరం జరపడానికి స్థూల సమయోగకర్షణి (coarse-adjustment screw) ని, అతిస్వల్పదూరం జరపడానికి సూక్ష్మ సమయోగకర్షణి (fine-adjustment screw) ని ఉపయోగిస్తారు.



పటం 9.1 ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శినిలోని ముఖ్య భాగాలు

సూక్ష్మదర్శిని గొట్టం : సూక్ష్మదర్శిని గొట్టంలో పైభాగంలో అక్షికటకం (eye-piece or ocular), దానికి దిగువన బెర్ట్రాండ్ కటకం (Bertrand lens), తరవాత విశ్లేషకం (analyzer), అన్నింటికన్న దిగువన వస్తుకటకం (objective) ఉంటాయి.

అక్షికటకంలో ఒకదానికొకటి లంబంగా ఉన్న రెండు వ్యత్యస్త కేశాలు (cross-hairs) ఉంటాయి. నిలువుగా ఉన్న కేశం అంటే పరిశీలకుని ముందు నుంచి వెనుకకుపోయే కేశం దిశను N-S దిశగాను, అడ్డంగా ఉన్న కేశం అంటే కుడినుండి ఎడమవైపుకు పోయే కేశం దిశను E-W దిశగాను పరిగణిస్తారు. అక్షికటకం ఆవర్ధనశక్తి (power of magnification) సాధారణంగా 6x, 8x లేదా 10x గా ఉంటుంది. వస్తుకటకం ఆవర్ధనశక్తి సాధారణంగా 3.5x, 10x లేదా 50x గా ఉంటుంది. సూక్ష్మదర్శిని ఆవర్ధనాన్ని (magnification) తెలుసుకోవడానికి అక్షికటకం ఆవర్ధనశక్తిని వస్తుకటకం ఆవర్ధనశక్తితో గుణించాలి. 10x శక్తిగల అక్షికటకాన్ని, 3.5x శక్తి గల వస్తుకటకాన్ని వాడినప్పుడు సూక్ష్మదర్శిని ఆవర్ధనం 35x అవుతుంది. అంటే 1 మి.మీ. పొడవుగల వస్తువును ఈ సూక్ష్మదర్శినితో పరిశీలిస్తే దాని ప్రతిబింబం పొడవు 35 మి.మీ. ఉంటుంది. సూక్ష్మదర్శిని ఆవర్ధనం సుమారు 35x ఉంటే దానిని అల్పశక్తి ఆవర్ధనం (low-power magnification) అనీ, సుమారు 100x ఉంటే దానిని మధ్యమశక్తి ఆవర్ధనం అనీ, 500x ఉంటే దానిని అధికశక్తి ఆవర్ధనం (high-power magnification) అనీ అంటారు. అభిసరణ కాంతిలో పరిశీలించేటప్పుడు నిర్దిష్టమైన ప్రతిబింబాన్ని పొందటానికి బెర్ట్రాండ్ కటకాన్ని ఉపయోగిస్తారు. దీనిని అవసరాన్నిబట్టి దృగావరణంలో ఉంచవచ్చు లేదా దృగావరణం నుంచి తొలగించవచ్చు.

వేదిక : ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శిలోని వేదిక జీవసూక్ష్మదర్శినిలోని వేదిక మాదిరిగా కాక వృత్తాకారంలో ఉండి సూక్ష్మదర్శిని అక్షంపై 360^0 భ్రమణం చేయడానికి వీలుగా ఉంటుంది. ఈ వేదిక పైన భ్రమణ కోణాన్ని కొలవడానికి వీలుగా గుర్తులు (graduation) ఉంటాయి. భ్రమణకోణాన్ని 0.1^0 మేరకు కచ్చితంగా కొలవడానికి వీలుంటుంది.

ఖనిజాల పల్చని ఛేదాలను (thin sections) లేదా రేణ్వారోహణలను (grain mounts) ఈ వేదికపైన ఉంచి పరిశీలిస్తారు. పల్చని ఛేదాలలో సుమారు 0.03 మి.మీ. మందం ఉన్న ఖనిజరేణువును లేదా రేణువుల సముచ్చయాన్ని (లేదా శిలా ఛేదాన్ని) ఒక గాజు ఫలకం (glass plate) పైన ఉంచి దానిపైన పల్చని గాజు పటలాన్ని (cover slip) ఉంచి వాటిని కెనడాబాల్సమ్ (canada balsam) వంటి మేళన పదార్థంతో అతికిస్తారు.

ఉపవేదిక కూర్పు : ఇది వేదికకు దిగువన ఉంటుంది. దీనికి, వేదికకు గల మధ్య దూరాన్ని ఒక కర్షణి ద్వారా నియంత్రణ చేయవచ్చు. దీనిలో ఊర్ధ్వసాంద్రీకరణ కటకం (upper condensing lens), దానికి కింద కనీనికాపటలం (iris diaphragm), అధోసాంద్రీకరణ కటకం (lower condensing lens), వీటి అన్నిటి కింద ధ్రువణకారి (polarizer) ఉంటాయి. ఊర్ధ్వ సాంద్రీకరణ కటకాన్ని అవసరాన్ని బట్టి దృగావరణంలో ఉండేటట్లుగాను, అక్కర లేనప్పుడు దృగావరణ వెలుపల ఉండేటట్లు గాను చేయవచ్చు.

సూక్ష్మదర్శిని దర్పణం : ఇది ఆధారపీఠానికి అమరి ఉంటుంది. దీనికి ఒకవైపున సమతల దర్పణం (plane mirror), రెండవవైపున పుటాకార దర్పణం (concave mirror) ఉంటాయి.

దీనిని పాక్షికంగా భ్రమణం చేయడానికి వీలుంటుంది. దర్పణాన్ని సరిగా సర్దుబాటు చేసినప్పుడు సమతలదర్పణంపైన లేదా పుటాకార దర్పణం పైన పతనమయ్యే కాంతి కిరణాలు పరావర్తనం చెంది దృగావరణాన్ని (field of vision) ఏకీరీతిగా దీపనం చేస్తాయి. ఇట్లా ఏకరీతిగా దీపనం చేయడానికి ఉపవేదిక కూర్పుకు, వేదికకు గల మధ్య దూరాన్ని నియంత్రణ చేయవలసి ఉంటుంది. సూక్ష్మదర్శినిలోకి ప్రవేశించే కాంతి తీవ్రతను తగ్గించడానికి కనీనికాపటలం రంధ్రాన్ని చిన్నది చేయాలి. అల్పశక్తి లేదా మధ్యమశక్తి ఆవర్ధనంతో పరిశీలించేటప్పుడు సమాంతర కాంతి (parallel light)ని, అధికశక్తి ఆవర్ధనంతో పరిశీలించేటప్పుడు అభిసరణ కాంతి (convergent light) ని ప్రసారంచేయాలి. సమాంతర కాంతిని ప్రసారంచేయడానికి సమతల దర్పణాన్ని ఉపయోగిస్తారు. అభిసరణ కాంతిని ప్రసారం చేయడానికి పుటాకార దర్పణాన్ని వాడటమే కాక ఊర్ధ్వ సాంద్రీకరణ కటకాన్ని దృగావరణంలోకి నెట్టాలి.

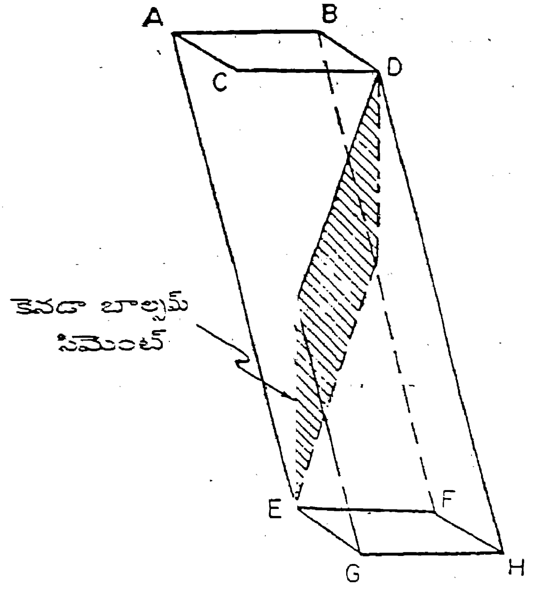
కాంతిమూలాలు (sources of light) : సూక్ష్మదర్శినిలోకి ప్రసారంచేయడానికి సూర్యకాంతిని, నీలి వర్ణం గాజు నిర్గలని (glass filter) ద్వారా వచ్చే టంగ్‌స్టన్ దీప (tungston lamp) కాంతిని లేదా ఏకవర్ణ కాంతిని ఉపయోగిస్తారు. వేరు వేరు తరంగదైర్ఘ్యాలు గల ఏక వర్ణ కాంతులను ఏకవర్ణ మాపకం (monochromator) ద్వారా పొందవచ్చు.

ధ్రువణకారి (polarizer), విశ్లేషకం (analyzer) : ఇవి రెండూ ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శినిలో ఉండే ప్రత్యేక ప్రకాశ భాగాలు. ధ్రువణకారి వేదికకు దిగువన ఉన్న ఉపవేదిక కూర్పులోను, విశ్లేషకం వేదికకు ఎగువన ఉన్న సూక్ష్మదర్శిని గొట్టంలోను అమరి ఉంటాయి. ఇవి ఒక నిర్దిష్టమైన దిశలో కంపనం చెందే కిరణాలను మాత్రమే ప్రసారం చేస్తాయి. ధ్రువణకారి ఏ నిర్దిష్టమైన దిశలో కంపనం చెందే కిరణాలు తన ద్వారా ప్రసారం చేస్తుందో ఆదిశను ధ్రువణకారి కంపనదిశ అని, విశ్లేషకం ఏ నిర్దిష్టమైన దిశలో కంపనం చెందే కిరణాలను తన ద్వారా ప్రసారం చేస్తుందో ఆ దిశను విశ్లేషకం కంపన దిశ అని అంటారు. ధ్రువణకారి, విశ్లేషకాల కంపన దిశలు ఒకదానికొకటి లంబంగా ఉండేటట్లు ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శినిలో వీటిని అమరుస్తారు. సాధారణంగా ధ్రువణకారి కంపనదిశ E-W గాను, విశ్లేషకం కంపనదిశ N-S గాను ఉంటాయి. అంటే ఇవి అక్షికటకంలోని వ్యత్యస్తకేశాలదిశలను పోలి ఉంటాయి. కొన్ని ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శినులలో ఈ దిశలలో పరస్పరం మార్పు ఉండవచ్చు. నిజానికి ఈ రెండింటి కంపన దిశలు సూక్ష్మదర్శిని అక్షానికి లంబంగా ఉన్న సమతలంలో ఏదిశలోనైనా ఉండేటట్లు వాటిని భ్రమణం చేయవచ్చు. అంతేకాక వాటిని దృగావరణం నుంచి తొలగించవచ్చుకూడా.

నిర్మితి (structure) దృష్ట్యా ధ్రువణకారి, విశ్లేషకం రెండూ ఒకే విధంగా ఉంటాయి. సూక్షదర్శినిలో వాటిస్థానాలు, అమరిక, ఉపయోగాలలో భేదాలు ఉంటాయే తప్ప అవి రెండూ ఒకే విధంగా రూపొందించబడినవే. వీటిని మొదట్లో కేల్సైట్ పారదర్శక ప్రభేదమైన ఐస్‌లాండ్‌స్పార్ స్ఫటికాల నుంచి తయారు చేసేవారు. ఈ పట్టకాలను 1928వ సంవత్సరంలో ప్రప్రథమంగా విలియమ్ నికాల్ (William Nicol) రూపొందించినందువల్ల వీటిని నికాల్ పట్టకాలు (Nicol prisms) అంటారు.

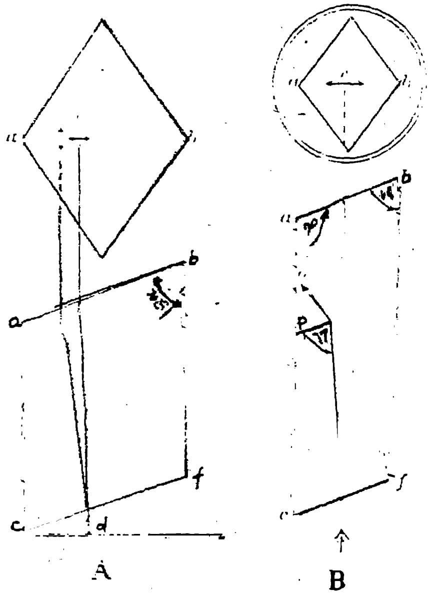
నికాల్ పట్టకం నిర్మాణం (construction of Nicol Prism)

ఒక పెద్ద ఐస్‌లాండ్ స్పార్ స్ఫటికాన్ని తీసుకొని దాని వెడల్పు కంటె పొడవు సుమారు మూడు రెట్లు ఉండేటట్లుగా దానిని విదళన సమతల వెంబడి విడదీయాలి. ఈ స్ఫటికం కడపటి ముఖాలు పార్శ్వముఖాలను $70^0 51'$ కోణంలో ఖండిస్తాయి. ఈ కోణం 68^0 ఉండే విధంగా కడపటి ముఖాలను కొద్దిగా అరగదీయాలి. తరవాత ఈ స్ఫటికాన్ని పటం 9.2లో చూపినట్లుగా క్షితిజనత సమతలం వెంబడి రెండు సమభాగాలుగా చేసి అ భాగాలను కెనడా బాల్సమ్‌తో అతికించాలి. తరవాత దాని పార్శ్వముఖాలపైన ఒక కాంతి నిరోధక పొరను (opaque coating) కప్పాలి. ఈ విధంగా రూపొందించిన స్ఫటికమే నికాల్ పట్టకం. దీనిని సూక్ష్మదర్శినిలో అమర్చినప్పుడు దీని దీర్ఘాక్షం సూక్షదర్శిని అక్షంతో ఏకీభవిస్తుంది. ఉపవేదిక కూర్పులో ఉన్న నికాల్ పట్టకాన్ని ధ్రువణకారి అనీ, సూక్షదర్శిని గొట్టంలో ఉన్న నికాల్ పట్టకాన్ని విశ్లేషకం అనీ అంటారు. ఈ రెండు నికాల్ పట్టకాలూ దృగావరణంలో ఉన్నప్పుడు వాటి కంపన దిశలు ఒక దానికొకటి లంబంగా ఉంటాయి కాబట్టి ఆ స్థితిలో వాటిని వ్యవస్థ నికాల్‌లు (crossed nicols) అంటారు.



పటం 9.2 నికాల్ పట్టకం

నికాల్ పట్టకంలో కాంతి ప్రసారమయ్యే విధానాన్ని, నికాల్ పట్టకం ద్వారా వచ్చే కాంతి కంపనాలు ఏ విధంగా ఒక నిర్దిష్టమైన దిశకే పరిమితమవుతాయి అనే విషయాన్ని పటం 9.3 నుంచి తెలుసుకోవచ్చు. కాంతి నికాల్ పట్టకంలోకి దాని దీర్ఘాక్షం వెంబడి ప్రవేశించగానే అది సాధారణ, అసాధారణ ధ్రువిత కిరణాలుగా విడిపోతుంది. సాధారణ కిరణం ప్రతివర్తనం (1.658)



పటం 9.3

A ఐస్‌లాండ్ స్పార్ స్ఫటికంలో కాంతి ప్రసరణ
B నికాల్ పట్టకంలో కాంతి ప్రసరణ

కెనడాబాల్సమ్ ప్రతివర్తనం (1.54) కంటె చాలా ఎక్కువగా ఉండటం వల్ల ఈ కిరణం పట్టకంలో కెనడా బాల్సమ్ ఉన్న సమతలం వద్ద పూర్ణపరావర్తనం చెందుతుంది. అయితే అసాధారణ కిరణం ప్రతివర్తనం కెనడా బాల్సమ్ ప్రతివర్తనానికి దాదాపు సమానంగా ఉంటుంది కాబట్టి అది దాని దిశలో ఎటువంటి మార్పులేకుండా ప్రసారమవుతుంది. సూక్ష్మదర్శినిలో అమర్చినప్పుడు దీని కంపన దిశ సూక్ష్మదర్శిని అక్షానికి లంబంగా ఉన్న సమతలంలో ఏదో ఒక దిశగా ఉంటుంది.

ఆధునిక సూక్ష్మదర్శినులలో నికాల్ పట్టకాలకు బదులుగా ఒక ప్రత్యేక సంశ్లేషిత పదార్థం నుంచి రూపొందించిన పోలరాయిడ్‌లు (polaroids) అనే పల్చని ఫలకాలను వాడుతున్నారు. ప్రస్తుతం ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శినిలో ధ్రువణకారి, విశ్లేషకాలుగా వాడే పోలరాయిడ్‌లను నికాల్ పట్టకాలనే వ్యవహరిస్తున్నారు.

ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శిని ద్వారా కాంతి ప్రసరణ
(Propagation of light through polarizing microscope)

సూక్ష్మదర్శిని దర్పణం నుంచి పరావర్తనం చెందిన అధ్రువిత కాంతి ధ్రువణకారి ద్వారా ప్రసారమైనప్పుడు ధ్రువిత కాంతిగా మార్పు చెందుతుంది. వేదికపైన పరిశీలనకోసం ఏ వస్తువు లేనప్పుడు ఈ ధ్రువిత కాంతి కంపన దిశలో ఎటువంటి మార్పులేకుండా సూక్ష్మదర్శిని గొట్టంలోకి ప్రవేశించి, విశ్లేషకం దృగావరణంలో లేనప్పుడు యథాతథంగా కంటిని చేరుతుంది. విశ్లేషకం దృగావరణంలో ఉన్నట్లయితే, అంటే వ్యత్యస్త నికాల్‌ల స్థితిలో, విశ్లేషకం కంపన దిశ ధ్రువణకారి నుంచి వచ్చే కాంతి కిరణాల కంపన దిశకు లంబంగా ఉంటుంది కాబట్టి ఆ కాంతి కిరణాలు విశ్లేషకం ద్వారా ప్రసారం కావు. అందువల్ల దృగావరణం కృష్ణవర్ణంలో ఉంటుంది. దృగావరణం

ఈ విధంగా ఉండటాన్ని విలుప్తత (extinction) అంటారు. అంటే కాంతి విలుప్తత చెందిందన్నమాట. సూక్ష్మదర్శిని వేదికపై ఖనిజాల పల్చని ఛేధాలు ఉన్నప్పుడు కాంతి వాటి ద్వారా ప్రసారమయ్యే విధాన్ని, ఆకాంతిలో ఖనిజాలు చూపే ధర్మాలను రాబోయే అధ్యాయంలో వివరించాము. ఖనిజాలను సూక్ష్మదర్శిని కింద పరిశీలించేటప్పుడు, వాటి ధర్మాలను ధ్రువణకారి, విశ్లేషకాలను అసలు ఉపయోగించకుండా, లేదా కేవలం ధ్రువణకారిని మాత్రమే ఉపయోగించి లేదా రెండింటిని ఉపయోగించి, అంటే వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య, అధ్యయనం చేయవచ్చు. మొదటి సందర్భంలో ఖనిజాలను సాధారణ కాంతిలోను, రెండవ సందర్భంలో ధ్రువిత కాంతిలోను, మూడవ సందర్భంలో విశ్లేషిత కాంతిలోను అధ్యయనం చేసినట్లు వర్ణిస్తారు.

ప్రకాశ ఉపకరణాలు (optical accessories)

స్ఫటికాల లేదా ఖనిజాల కొన్ని ప్రత్యేక ధర్మాలను నిర్ధారణ చేయడానికి ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శినితోబాటు కొన్ని ప్రకాశ ఉపకరణాలను వాడతారు. వాటిలో మైకాఫలకం (mica plate), జిప్సమ్ ఫలకం (gypsum plate), క్వార్ట్జ్ కీలం (quartz wedge), బెరెక్ ప్రతికరణి (Berek compensator), యూనివర్సల్ స్టేజ్ (Universal stage) ముఖ్యమైనవి. వీటి వర్ణన, నిర్మాణం ప్రస్తుత పాఠ్యప్రణాళికలో లేవు కాబట్టి వాటిని గురించి ఇక్కడ వివరించలేదు.

ఖనిజాల, శిలల పల్చని ఛేదాలు (thin sections of minerals and rocks)

సూక్ష్మదర్శిని కింద పరిశీలనకోసం ఖనిజాల, శిలల పల్చని ఛేదాలు అవసరమవుతాయి. పల్చని ఛేదం తయారుచేయడం కోసం ఖనిజం లేదా శిలముక్కను ఒక దానిని తీసుకొని కార్బొరాండమ్ పౌడర్‌ల (corborundum powders) తో దానిని ఒక వైపున నున్నగా అరగదీస్తారు. తరవాత దానిని శుభ్రంగా కడిగి సుమారు 7.5 మి.మీ. x 2.5 మి.మీ. కొలతలుగల ఒక గాజుఫలకం (glass slip or slide)పైన అరగదీసిన వైపున కెనడా బాల్సమ్‌తో అతికిస్తారు. తిరిగి దీనిని అతి సన్నని (finest) పౌడర్‌లో జాగ్రత్తగా అరగదీస్తారు. ఛేదం మందం ప్రామాణిక మందానికి (0.03 మి.మీ.) సమానంగా ఉన్నప్పుడు ఛేధంపైన ఒక పల్చని గాజుపటలాన్ని కెనడా బాల్సమ్‌తో అతికిస్తారు. మెథిలేటెడ్ స్పిరిట్‌తో గాజు పటలం చుట్టూ ఉన్న కెనడా బాల్సమ్‌ను తీసివేస్తారు. సూక్ష్మదర్శిని కింద పరిశీలన కోసం ఖనిజాల, శిలల పల్చని ఛేధాలను ఇట్లా తయారు చేయడంలో చాలా ఓర్పు, ప్రావీణ్యత అవసరం. లేకపోతే అరగదిసే దశలలో, లేదా గాజు ఫలకంపై అమర్చేదశలో ఛేదం పగిలిపోవచ్చు.

10
ఖనిజాల ప్రకాశ ధర్మాలు
(Optical Properties of Minerals)

స్ఫాటికీయ ఖనిజాలను వాటి ప్రకాశధర్మాలు ఆధారంగా సమగతిక, అసమగతిక ఖనిజాలుగా విభజించవచ్చునని 8వ అధ్యాయంలో తెలుసుకొన్నారు. క్వార్ట్జ్ ఖనిజం ప్రభేదమైన శిలాస్ఫటికం (rock crystal), కేల్సైట్ ఖనిజం ప్రభేదమైన ఐస్‌లాండ్ స్పార్, మస్కోవైట్ మైకా వంటి కొన్ని ఖనిజాలు మినహా ఖనిజాలలో అధిక భాగం కాంతి నిరోధక ధర్మాన్ని చూపుతాయి. అయితే శిలా నిర్మాణ ఖనిజాల (rock forming minerals) నమూనాలు కాంతి నిరోధకంగా ఉన్నప్పటికీ, వాటి పల్చని ఛేదాలు (thin sections), సుమారు 0.03 మి.మీ. మందం ఉన్నవి, పారదర్శకంగా ఉంటాయి. ధాతుఖనిజాలు (ore minerals) ఇటువంటి పల్చని ఛేదాలలో కూడా కాంతిని ప్రసారం చేయవు. ఖనిజాల పారదర్శక ఛేదాలను ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శిని సహాయంతో ప్రసారిత కాంతి (transmitted light)లో పరిశీలిస్తారు. ధాతు ఖనిజాల పరిశీలనలో పల్చని ఛేదాలనుకాక పాలిష్ చేసిన వాటి ఉపరితలాలను ధాతు సూక్ష్మదర్శిని (Ore mircroscope)ని ఉపయోగించి పరావర్తిత కాంతిలో (reflected light) అధ్యయనం చేస్తారు. ఖనిజాల పారదర్శక ఛేదాలను ధ్రువణ సూక్ష్మదర్శిని సహాయంతో అధ్యయనం చేసేటప్పుడు వాటి ధర్మాలను సాధారణ, ధ్రువిత, విశ్లేషిత, అభిసరణ కాంతులలో పరిశీలిస్తారు. కాంతి కిరణాలు సమగతిక, అసమగతిక ఖనిజాల ఛేదాల ద్వారా ప్రసారమయ్యే విధానం, ఆ ఖనిజాలు చూపే ధర్మాలు ఈ అధ్యాయంలో వివరించబడినాయి. ప్రస్తుత పాఠ్య ప్రణాళికలో అభిసరణ కాంతిలో పరిశీలించే ధర్మాలు లేనప్పటికీ విషయ సమగ్రత కోసం వాటిని కేవలం సూచించడమే జరిగింది కాని, వివరించలేదు. అదే విధంగా పాఠ్యప్రణాళికలోలేని ధాతు ఖనిజాల పరిశీలన గురించి అసలు ప్రస్తావించలేదు.

సమగతిక ఖనిజాల ప్రకాశ ధర్మాలు
(Optical properties of isotropic minerals)

సమాక్షవ్యవస్థలో స్ఫటికీకరణ చెందే ఖనిజాలు, అస్ఫాటికీయ ఖనిజాలు సమగతిక ఖనిజాల కిందికి వస్తాయి. ఈ ఖనిజాలలోని అన్ని దిశలలోను ప్రకాశధర్మాలు ఒకే విధంగా ఉంటాయి. ఈ ఖనిజాలలో కాంతి అన్ని దిశలలోను ఒకే వేగంతో ప్రయాణించడమే దీనికి కారణం. ఈ ఖనిజాలలో కాంతి కిరణం సాధారణ వక్రీభవనానికే గురి అవుతంది కాని, ద్వివక్రీభవనం చెందదు.

సాధారణ, ధ్రువిత కాంతులలో సమగతిక ఖనిజాల ధర్మాలు

ఈ ఖనిజాలు వాటి సమగతిక ధర్మం కారణంగా ధ్రువిత కాంతిలో ప్రత్యేకమైన దృగ్విషయాలను (phenomena) వేటినీ చూపవు. సాధారణ కాంతిలో చూపే ధర్మాలనే ధ్రువిత కాంతిలో కూడా చూపుతాయి. సమగతిక పదార్థం పల్చని ఛేదానికి కాంతిని ధ్రువణం చేసే లక్షణం లేదా ద్వివక్రీభవనం చేసే లక్షణం ఉండదు. కాబట్టి, సూక్ష్మ దర్శినిలోని ధ్రువణకారి నుంచి ఖనిజ ఛేదంలోకి ప్రవేశించే కాంతి ఎటువంటి మార్పుకు గురి కాకుండా అక్షికటకాన్ని చేరుతుంది.

విశ్లేషిత కాంతిలో లేదా వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య సమగతిక ఖనిజాలధర్మాలు

సమగతిక ఖనిజాలకు ద్వివక్రీభవన ధర్మం ఉండదు. కాబట్టి వాటి ద్వారా ప్రసరించిన ధ్రువిత కాంతి కంపనదిశలో ఎటువంటి మార్పు పొందకుండా, అంటే ధ్రువణకారి కంపన దిశలోనే కంపనం చెందుతూ విశ్లేషకాన్ని చేరినప్పుడు, విశ్లేషకం కంపన దిశ ధ్రువణకారి కంపనదిశకు లంబంగా ఉంటుంది కాబట్టి కాంతి విశ్లేషకం ద్వారా ప్రసారంకాదు. అందువల్ల దృగావరణం కృష్ణవర్ణంలో ఉంటుంది. అంటే ఖనిజం విలుప్తతను చూపుతుందని అంటారు. సూక్ష్మదర్శిని వేదికను భ్రమణం చేసినప్పటికీ, ఖనిజానికి అన్ని దిశలలోను సమగతిక ధర్మమే ఉంటుంది కాబట్టి, అన్ని స్థానాలలోను ఖనిజం విలుప్తతనే చూపుతుంది. అంటే సమగతిక ఖనిజాలు వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య, వేదిక ఏస్థానంలో ఉన్నప్పటికీ కృష్ణవర్ణాన్నే లేదా విలుప్తతనే చూపుతాయి. దీనిని పూర్ణ విలుప్తత (complete extinction)అంటారు.

అసమగతిక ఖనిజాల ప్రకాశ ధర్మాలు
(Optical properties of anisotropic minerals)

సాధారణ, ధ్రువిత కాంతులలో అసమగతిక ఖనిజాల ధర్మాలు

సమాక్షవ్యవస్థ మినహా మిగిలిన స్ఫటిక వ్యవస్థలలో స్ఫటికీకరణ చెందే ఖనిజాలు అసమగతిక ఖనిజాల కిందికి వస్తాయి. ఇవి వేరువేరు దిశలలో వేరు వేరు ధర్మాలు చూపుతాయి. వీటికి ద్వివక్రీభవన ధర్మం ఉంటుంది. అంటే ఈ ఖనిజాలలోకి ప్రవేశించిన కాంతి కిరణం ఒకదాని కొకటి లంబంగా ఉన్న రెండు దిశలలో కంపించే రెండు కిరణాలుగా చీలుతుంది. ప్రతి అసమగతిక ఖనిజానికి ఈ కంపనదిశలు నిర్దిష్టమై ఉంటాయి. కొన్ని ఖనిజాలలో ఈ దిశలు అ ఖనిజాల స్ఫటిక రేఖీయ దిశలకు అంటే స్ఫటిక రేఖీయ అక్షాలకు సమాంతరంగా ఉండవచ్చు, మరికొన్నింటిలో స్ఫటికరేఖీయ అక్షాలకు కొంత కోణంలో ఉండవచ్చు.

ద్వివక్రీభవన ధర్మం కారణంగా ఈ ఖనిజాలు సాధారణ కాంతిలో చూపని కొన్ని ప్రత్యేకమైన ధర్మాలను ధ్రువిత కాంతిలో చూపుతాయి. ఒక ఖనిజాన్ని ధ్రువిత కాంతిలో భ్రమణం చేసినప్పుడు దాని వర్ణంలో గుణాత్మకమైన (qualitative) లేదా పరిమాణాత్మకమైన (quantitative) మార్పుకనిపిస్తే ఆ ఖనిజం వర్ణపరివర్తన ధర్మాన్ని చూపుతున్నదని అంటారు. వేరువేరు సమతలాలో లేదా దిశలలో కంపించే కాంతిని ఖనిజం అసమానంగా శోషణ చేయడం వల్ల ఆ ఖనిజం వర్ణపరివర్తన ధర్మాన్ని చూపుతుంది. ఉదాహరణకు ఏకప్రకాశాక్ష ఖనిజమైన బయొటైట్ దైర్ఘ్య ఛేదం (longitudinal section) లో ధ్రువిత కాంతి కంపనదిశ విదళన దిశకు లేదా స్ఫటికరేఖీయ దిశకు సమాంతరంగా ఉన్నప్పుడు ఆ ఖనిజం గాఢ కపిశ (dark brown) వర్ణాన్ని, ఒక్కొక్కప్పుడు కృష్ణ వర్ణాన్ని చూపుతుంది. ధ్రువితకాంతి కంపన దిశ విదళన దిశకు లేదా స్ఫటిక రేఖీయ దిశకు లంబంగా ఉన్నప్పుడు లేతపీత (pale yellow) వర్ణాన్ని చూపుతుంది. మరోవిధంగా చెప్పాలంటే ఛేదంలోని సాధారణ కిరణ (o-ray), అసాధారణ కిరణాల (e-ray) కంపన దిశలు ఆ ఖనిజంలోకి ప్రవేశించే కాంతి యొక్క కంపన దిశకు సమాంతరంగా లేదా లంబంగా ఉన్నప్పుడు ఈ వర్ణవ్యత్యాసం కనిపిస్తుంది. సూక్ష్మదర్శిని వేదికపై ఖనిజ ఛేదాన్ని ఉంచి, విశ్లేషకాన్ని వాడకుండా ధ్రువణకారిని గాని వేదికను గాని భ్రమణం చేస్తూ ఖనిజం వర్ణంలోని మార్పును గమనించవచ్చు. సమగతిక

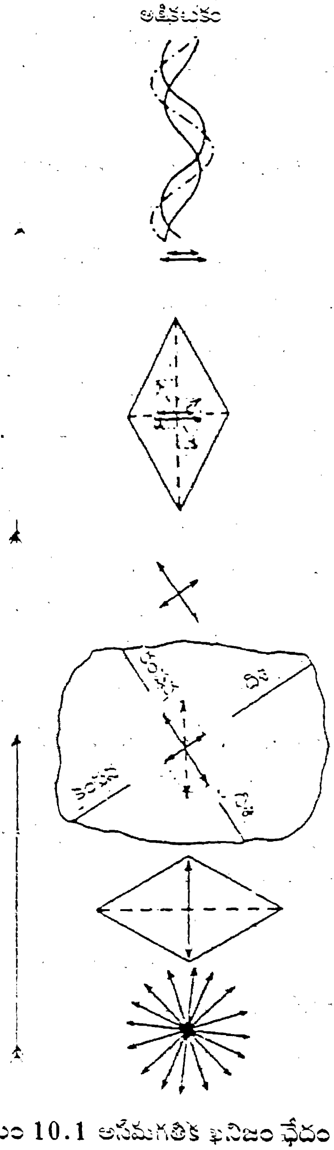
ఖనిజాలలో అన్ని దిశలలోను కాంతి శోషణం ఒకే విధంగా ఉంటుంది కాబట్టి అవి వర్ణ పరివర్తన చూపవు.

కాంతి కంపన దిశను బట్టి ఏక ప్రకాశాక్ష ఖనిజాలు సాధారణంగా రెండు దిశలలోను (o,e కిరణాల కంపన దిశలలోను), ద్విప్రకాశాక్ష ఖనిజాలు మూడు దిశలలోను (X,Y,Z అనే మూడు ప్రకాశ దిశలలోను) వర్ణంలో గణనీయమైన మార్పును చూపుతాయి. ఆయా ఖనిజాలు వేరు వేరు దిశలలో చూపే వర్ణాలను ఆ దిశలకు అనుగుణంగా తెలియజేస్తే దానిని వర్ణపరివర్తన పథకం (pleochroic scheme) అంటారు. ఉదాహరణకు బయొటైట్ ఖనిజం వర్ణ పరివర్తన పథకం : o = లేత పీతం, e = గాఢకపిశం; హార్న్‌బ్లెండ్ ఖనిజం వర్ణ పరివర్తన పథకం : X = లేత హరితం(pale green), Y = గాఢ హరితం (dark green), Z = గాఢ కపిశం (dark brown) అని వ్రాయవచ్చు.

విశ్లేషిత కాంతిలో లేదా వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య అసమగతిక ఖనిజాల ధర్మాలు

ఒక అసమగతిక ఖనిజం ఛేదాన్ని సూక్ష్మదర్శిని వేదికపై ఉంచి వ్యత్యస్తనికాల్‌ల మధ్య పరిశీలిస్తున్నాం అనుకొందాం. ధ్రువణకారి నుంచి వచ్చే ఒక ఏకవర్ణ కాంతి కిరణం ఖనిజ ఛేదంలోకి ప్రసారమైనప్పుడు అది ఒకదానికొకటి లంబంగా ఉన్న కంపన దిశలు గల రెండు ధ్రువిత కిరణాలుగా చీలుతుంది. ఈ కంపనదిశలు, అంటే ఖనిజ ఛేదం కంపనదిశలు ధ్రువణకారి, విశ్లేషకాల కంపన దిశలతో ఏకీభవిస్తే, ఆ కిరణాలు విలుప్తత పొందుతాయి. ఖనిజం విలుప్తత చూపే ఈ స్థానాన్ని సమాంతర స్థానం (parallel position) అంటారు. వేదిక పూర్తి భ్రమణంలో ఇటువంటి స్థానాలు నాలుగు సార్లు వస్తాయి. అందువల్ల వేదిక ఒక పూర్తి భ్రమణంలో అంటే 360^0 భ్రమణంలో ఖనిజ ఛేదం నాలుగు సార్లు విలుప్తత చూపుతుందన్నమాట. వేదికపైన ఉన్న ఛేదాన్ని కదపకుండా వేదికను 45^0 భ్రమణం చేసినప్పుడు, అంటే 45^0 స్థానం (45^0 positon) లో ఖనిజ ఛేదం నుంచి ప్రసారమయ్యే రెండు కిరణాల కంపన దిశలు విశ్లేషకం కంపనదిశకు 45^0 కోణంలో ఉంటాయి. ఇటువంటి స్థితిలో ఈ రెండు కిరణాలు విశ్లేషకంలోకి ప్రవేశించినప్పుడు అవి ఒక్కొక్కటి తిరిగి రెండు నికాల్‌ల కంపనదిశలతో ఏకీభవించే రెండు అంశ కిరణాలుగా అంటే మొత్తం నాలుగు అంశ కిరణాలుగా చీలుతాయి. వీటిలో విశ్లేషకం కంపన దిశకు సమాంతరంగా కంపన దిశలుగల రెండు అంశ కిరణాలు విశ్లేషకం నుంచి బయటకు వస్తాయి. ఈ రెండు అంశ కిరణాలు ఒకే తలంలో కంపనం చెందుతూ, ఏకవర్ణకాంతి కిరణాలు కావడం వల్ల ఒకే తరంగ దైర్ఘ్యంతో ఉంటాయి. అయితే వాటి వేగంలోని భేదం వల్ల అవి రెండు వేరువేరు దూరాలు ప్రయాణిస్తాయి. కాబట్టి వాటి దశలలో భేదం ఉంటుంది. ఈ దశాభేదం కారణంగా ఆ రెండు కిరణాలు వ్యతికరణం చెందుతాయి. ఈ దృగ్విషయాన్ని పటం 10.1లో చూడవచ్చు. ఈ పటంలో ధ్రువణకారి కంపనదిశ N-S గా చూపబడింది. ధ్రువణకారి నుంచి వచ్చే ధ్రువితకిరణం N-S దిశలో కంపనం చెందుతూ ఖనిజ ఛేదంలోకి ప్రవేశించినప్పుడు అది ఖనిజం కంపన దిశలకు సమాంతరంగా కంపన దిశలుగల రెండు కిరణాలుగా చీలుతుంది. ఈ రెండు కిరణాలు ఖనిజ ఛేదం నుంచి విశ్లేషకం ద్వారా ప్రసారమైనప్పుడు అవి తిరిగి N-S, E-W కంపన దిశలకు సమాంతరంగా కంపన దిశలుగల రెండు కిరణాలుగా చీలుతాయి. వీటిలో N-S కంపన దిశలు గల రెండు అంశ కిరణాలు విశ్లేషకంలో సంపూర్ణ పరవర్తనం చెందగా, E-W కంపన దిశలు గల రెండు అంశ కిరణాలు

ప్రసారమై, వాటి దశాభేదం కారణంగా వ్యతికరణం చెందుతాయి. ఫలిత కిరణాన్ని పటంలో అవిచ్ఛిన్న వక్రం రూపంలో చూడవచ్చు. ఖనిజఛేదం చూపే నాలుగు విలుప్తత స్థానాల మధ్య ఉండే స్థానాలన్నింటిలో ఈ రీతి వ్యతికరణం సంభవిస్తుంది. ఈ వ్యతికరణం మూలంగా ఉత్పన్నమయ్యే వర్ణాలను వ్యతికరణ వర్ణాలు లేదా ధ్రువణ వర్ణాలు అంటారు. వేదికను భ్రమణం చేసినప్పుడు ఈ వర్ణాలలో మార్పు ఉండదు కాని వాటి గాఢత (intensity)లో మాత్రం తేడా కనిపిస్తుంది. ఈ వర్ణాల క్రమాలను న్యూటన్ వ్యతికరణ వర్ణాల స్కేల్ (Newton's scale of interference colours)కు అనుగుణం



రెండు కిరణాలు ఖనిజఛేదం నుంచి బయటకు వస్తాయి.

ఖనిజ ఛేదం : ధ్రువణకారి నుంచి వచ్చే కాంతి ఖనిజం కంపన దిశలకు సమాంతరంగా కంపనంచేందే రెండు పరస్పర లంబ కంపనాలుగా విడిపోతుంది.

ధ్రువణకారి : కాంతి N-S దిశలో కంపనం చెందుః ధ్రువణకారి నుంచి ఖనిజఛేదంలోకి ప్రవేశిస్తుంది.

ధ్రువణం చెందని సాధారణకాంతి ధ్రువణకారిలోకి ప్రవేశిస్తుంది.

పటం 10.1 అసమగతిక ఖనిజం ఛేదం ద్వారా ప్రసరించే కాంతి వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య ప్రవర్తించేతీరు.

పైన వివరించినట్లు ఒక ఖనిజం ఛేదం చూపే వ్యతికరణ వర్ణాలు ఆ ఖనిజం ఉత్పన్నం చేసే అంశ కిరణాల దశాభేదంపై ఆధారపడి ఉంటుంది. ఈ దశాభేదం తిరిగి ఖనిజం యొక్క

ద్వి-ప్రతివర్తనం, ఖనిజఛేదం మందం, దాని దిగ్విన్యాసం (orientation) అంటే ఛేదం ప్రకాశాక్షానికి అనుగుణంగా ఏదిశలో కోయబడింది, అనే అంశాలపై ఆధారపడి ఉంటుంది.

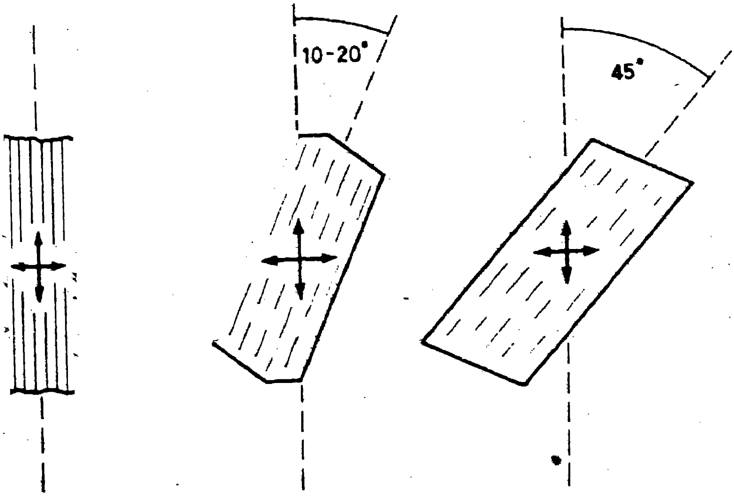
అసహజ వ్యతికరణ వర్ణాలు (abnormal interference colours) : చాలా ఖనిజాలు న్యూటన్ స్కేల్‌లో లేని కొన్ని వ్యతికరణ వర్ణాలను చూపుతాయి. వీటిని అసహజ (abnormal) లేదా అసంగత (anomalous) వ్యతికరణ వర్ణాలు అంటారు. విశ్లేషకం దృగావరణంలో లేనప్పుడు ఏదైనా ఒక ఖనిజం దాని ద్వారా ప్రసారమయ్యే కాంతిలో కొంత భాగాన్ని శోషణం చేసినట్లయితే, ఆ ఖనిజాన్ని వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య పరిశీలించినప్పుడు అది చూపే వర్ణం సహజ వ్యతికరణ వర్ణం, శోషణ వల్ల వచ్చే వర్ణం ఈ రెండిటి ఉమ్మడి ప్రభావం వల్ల ఉత్పన్నమైనదై ఉంటుంది. ఇటువంటి వర్ణమే అసహజ లేదా అసంగత వ్యతికరణ వర్ణం. మరోవిధంగా చెప్పాలంటే ఖనిజం వర్ణం వ్యతికరణ వర్ణాన్ని కొంతమేరకు మార్పు చేస్తుంది.

విలుప్తత స్థానం (position of extinction), విలుప్తత కోణం (extinction angle)

అసమగతిక ఖనిజాల ఛేదాలలో అత్యధిక భాగం వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య, వేదిక ఒక పూర్తి భ్రమణంలో, నాలుగు సార్లు విలుప్తత చూపుతాయని, ఖనిజం కంపన దిశలు నికాల్ పట్టకాల కంపన దిశలకు సమాంతరంగా ఉన్నప్పుడు ఈ విలుప్తత సంభవిస్తుందని పైన చెప్పుకొన్నాం. అంతేకాక ప్రతి ఖనిజం దాని స్ఫటికరేఖీయ దిశలకు అనుగుణంగా నిర్దిష్టమైన స్థానాలలోనే విలుప్తత చెందుతుందని కూడా సూక్ష్మదర్శిని కింద జరిపే పరిశీలనల వల్ల తెలుస్తుంది. చాలా ఖనిజాల ఛేదాలలో స్ఫటిక రేఖీయ దిశలను నిర్ణయించడానికి అనువుగా ఉండే విదళనరేఖలు లేదా స్ఫటిక అంచులు ఉంటాయి. వీటికి అనుగణంగా ఆ ఛేదాల విలుప్తత స్థానాలను నిర్ధారణ చేయవచ్చు. కొన్ని ఖనిజాల ఛేదాలు వాటి విదళన రేఖలు, అంచుల వంటి స్ఫటిక రేఖీయ దిశలు ఒక వ్యత్యస్త కేశానికి సమాంతరంగా ఉన్నప్పుడు, అంటే నికాల్‌పట్టకాల కంపన దిశలలో ఒకదానికి సమాంతరంగా ఉన్నప్పుడు విలుప్తత చూపుతాయి. ఇటువంటి విలప్తతను సరళ విలుప్తత (straight extinction) లేదా సమాంతర విలుప్తత (parallel extinction) అంటారు (పటం 10.2). కొన్ని ఖనిజాల ఛేదాలు వాటి స్ఫటికరేఖీయ దిశలు వ్యత్యస్త కేశాలకు కొంత కోణంలో ఉన్నప్పుడు విలుప్తత చూపుతాయి. ఈ రీతి విలుప్తతను నతవిలుప్తత (inclined extinction or oblique extinction) అంటారు (పటం 10.2). ఛేదంలోని రెండు గణాల విదళన రేఖలకు లేదా అంచులకు మధ్య ఉన్న కోణాన్ని వ్యత్యస్త కేశాలు సమద్విఖండన (bisect) చేస్తున్న స్థానంలో ఛేదం విలుప్తత చూపితే ఆ రకం విలుప్తతను సౌష్ఠవ విలుప్తత (symmetrical extinction) అంటారు.

ఖనిజ ఛేదం విలుప్తత స్థానాన్ని ఆ ఛేదంలోని కంపన దిశకు, స్ఫటికరేఖీయదిశకు మధ్య ఉన్న కోణం ఆధారంగా తెలియజేయవచ్చు. ఈ కోణాన్ని విలుప్తత కోణం (extinction angle) అంటారు. సమాంతర విలుప్తత చూపే ఖనిజాలలో విలుప్తతకోణం సున్న అవుతుంది. నతవిలుప్తత చూపే ఖనిజాలలో ఈ కోణం 0^0 కన్న ఎక్కువ, 90^0 కన్న తక్కువ ఉంటుంది. విలుప్తత కోణాన్ని కొలవడానికి మొదట ఖనిజం ఛేదాన్ని విలుప్తత స్థానంలో ఉంచి వేదికపై రీడింగ్‌ను తీసుకొంటారు: ఇది ఖనిజం కంపన దిశను సూచిస్తుంది. తరువాత ఛేదంలోని విదళన రేఖలు లేదా అంచులు వ్యత్యస్తకేశానికి సమాంతరంగా అంటే నికాల్ పట్టకం కంపన దిశకు సమాంతరంగా ఉండేటట్లు వేదికను భ్రమణం చేసి రీడింగ్‌ను తీసుకొంటారు. ఇది ఖనిజం స్ఫటిక రేఖీయదిశను

సూచిస్తుంది. ఈ రెండు రీడింగ్‌ల వ్యత్యాసమే ఆ ఖనిజం విలుప్తత కోణం అవుతుంది. బయొటైట్, హార్న్‌బ్లెండ్, ఆగైట్ ఛేదాల విలుప్తత కోణాలను పటం 10.2లో చూడవచ్చు.



పటం 10.2 (a) బయొటైట్, (b) హార్న్‌బ్లెండ్, (c) ఆగైట్ ఖనిజాల దీర్ఘఛేదాలలో గరిష్ఠ విలుప్తత కోణాలు. ఛేదాలలోని బాణాలు కంపన దిశలను సూచిస్తాయి. బయొటైట్ సమాంతర విలుప్తతను, హార్న్‌బ్లెండ్, ఆగైట్ నతవిలుప్తతను చూపుతున్నాయి. వీటి విలుప్తత కోణాలను పటంలో చూడవచ్చు.

వివిధ స్ఫటిక వ్యవస్థలకు చెందిన ఖనిజాల ఛేదాలను పరిశీలించి వాటి విలుప్తత స్వభావం కింది విధంగా ఉంటుందని తెలుసుకొన్నారు.

సమాక్షవ్యవస్థ	:	అన్ని ఛేదాలు సమగతిక ధర్మాన్ని అంటే పూర్ణ విలుప్తతను చూపుతాయి
చతుష్కోణ, షట్‌కోణ, త్రికోణ వ్యవస్థలు	:	ప్రకాశాక్షమైన c-అక్షానికి లంబంగా ఉండే ఆధారఛేదాలు (basal sections) సమగతిక ధర్మాన్ని చూపుతాయి. నిలువు ఛేదాలు (vertical sections) సరళ విలుప్తత చూపుతాయి.
విషమాక్ష వ్యవస్థ	:	ద్విపార్శ్వక (pinacoidal) ఛేదాలు సరళ విలుప్తత చూపుతాయి.
ఏకనత వ్యవస్థ	:	లలాట ద్విపార్శ్వక (ortho-or front pinacoidal) ఛేదాలు, ఆధార ద్విపార్శ్వక ఛేదాలు సరళ విలుప్తత చూపుతాయి. పార్శ్వ ద్విపార్శ్వక (clino - or side pinacoidal) ఛేదాలు నతవిలుప్తత చూపుతాయి.
త్రినత వ్యవస్థ	:	అన్ని ఛేదాలు నతవిలుప్తతనే చూపుతాయి.

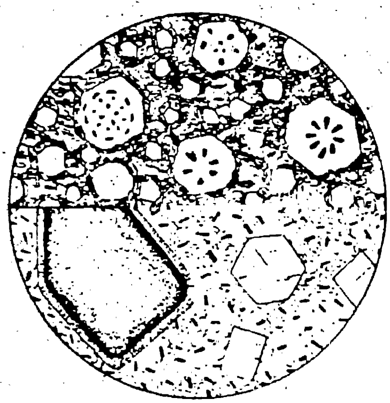
సూక్ష్మదర్శిని కింద ఖనిజాల పరిశీలన
(Observation of minerals under the microscope)

సూక్ష్మదర్శిని కింద ఖనిజాల ఛేదాలను సాధరణ కాంతిలోను, ధ్రువిత కాంతిలోను, విశ్లేషిత కాంతిలోను అంటే వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య, చివరగా అభిసరణ కాంతిలోను పరిశీలిస్తారని మొదట్లో చెప్పుకొన్నాం. ఆయా కాంతులను ఉపయోగించి పరిశీలించే ఖనిజాల ప్రకాశ ధర్మాలను క్లుప్తంగా కింద చూడవచ్చు.

సాధారణ కాంతిలో పరిశీలన

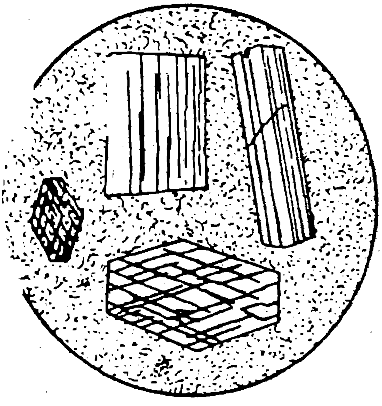
ఖనిజాల ఛేదాలను సాధారణ కాంతిలో పరిశీలించడానికి ధ్రువణకారి, విశ్లేషకం ఈ రెండింటినీ దృగావరణం నుంచి తొలగించాలి. కింది ధర్మాలను సాధారణ కాంతిలో పరిశీలించవచ్చు.

స్ఫటిక రూపం (crystalline form) : ఒక ఖనిజం యొక్క స్ఫటికరూపాన్ని నిర్ధారణ చేయడానికి ఆ ఖనిజం ఛేదాలను ఎన్నింటినో పరిశీలించవలసి ఉంటుంది. అయితే ఒక్కొక్కసారి ఛేదంలోని ఖనిజ రేణురూపం దాని స్ఫటిక రూపాన్ని తెలియజేస్తుంది. ఉదాహరణకు షట్కోణ వ్యవస్థకు చెందిన నెఫిలీన్ ఖనిజం ఛేదాలలో తరచుగా షడ్భుజాకార (hexagonal) లేదా దీర్ఘచతురస్రాకార (rectangular) రూపాలలో కనిపిస్తుంది (పటం 10.3).



పటం 10.3 పల్చని ఛేదంలో ఎగువన లూసైట్, దిగువన ఎడమవైపున నోసీన్, కుడివైపున నెఫిలీన్

విదళన (cleavage) : ఛేదంలో విదళన ఒకటి లేదా ఒకటి కన్న ఎక్కువ గణాలకు చెందిన సమాంతర పగుళ్లుగా కనిపిస్తుంది. ఒక ఛేదంలో ఉండే విదళన గణాల సంఖ్య, వాటి మధ్యకోణం (విదళన కోణం) ఆఛేదాన్ని కోసిన దిశపై ఆధారపడి ఉంటాయి. ఉదాహరణకు హార్న్‌బ్లెండ్‌లోని పట్టక విదళన తిర్యక్ ఛేదాల (transverse sections)లో ఒకదానికొకటి సుమారు 120^0 కోణంలో ఖండించుకొనే రెండు గణాల రేఖలుగా కనిపిస్తుంది. కాని దైర్ఘ్య ఛేదాలు (longitudinal sections)లో ఒక గణం విదళన పగుళ్లు మాత్రమే కనిపిస్తాయి (పటం 10.4).



పటం 10.4 విదళన చూపే హార్న్‌బ్లెండ్ ఛేదాలు – ఎగువన పట్టక లేదా దైర్ఘ్య ఛేదాలు, దిగువన తిర్యక్ ఛేదం

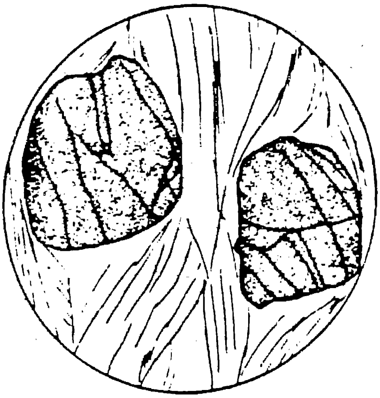
అంతర్వేశాలు (inclusions) : కొన్ని ఖనిజాలలో ఉండే అంతర్వేశాలు ఒక క్రమమైన రీతిలో అమరి ఉండి ఆ ఖనిజాల నిర్ధారణాత్మక (diagnostic) ధర్మంగా ఉంటాయి. ఉదాహరణకు ల్యూసైట్‌లో అంతర్వేశాలు సౌష్ఠవరీతిలో ఏకకేంద్రకంగా లేదా వికిరణంగా అమరి ఉంటాయి (పటం 10.3).

పారదర్శకత (transparency) : శిలా నిర్మాణ ఖనిజాలలో చాలా భాగం పల్చని ఛేదాలలో పారదర్శకంగా ఉంటాయి. మాగ్నటైట్, పైరైట్ వంటి కొన్ని ఖనిజాలు మాత్రం కాంతి నిరోధకంగా ఉంటాయి.

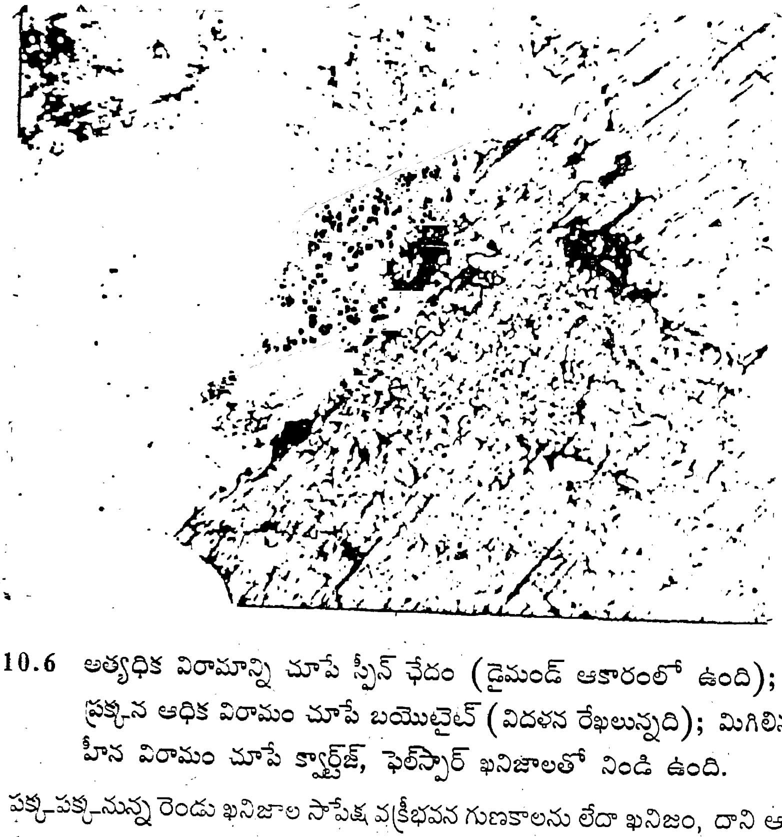
వర్ణం (colour) : కొన్ని ఖనిజాలు పల్చని ఛేదంలో వర్ణరహితంగా (colourless) ఉండవచ్చు. (ఉదా: క్వార్ట్జ్, మస్కోవైట్) లేదా ఏదో ఒక వర్ణాన్ని చూపవచ్చు (ఉదా : బయొటైట్, టూర్మలీన్). సాధారణంగా చాలా ఖనిజాలకు నిర్దిష్టమైన వర్ణాలు ఉంటాయి.

విరామం (relief) : ఒక ఖనిజం రేణువు, దానిని ఆవరించి ఉన్న యానకం (ఘన లేదా ద్రవ పదార్థం) లేదా మరో ఖనిజం యొక్క వక్రీభవన గుణకాలలోని వ్యత్యాసాన్ని ఆ రేణువు సాపేక్షప్రతివర్తనం (relative refringence) లేదా విరామం అంటారు. యానకం కన్న ఎక్కువ ప్రతివర్తనాన్ని చూపే రేణువు ధన విరామాన్ని (positive relief), తక్కువ ప్రతి వర్తనాన్ని చూపేరేణువు రుణ విరామాన్ని (negative relief) చూపుతున్నాయని అంటారు. సాధారణంగా ఛేదాలలో ఖనిజ రేణువులు కెనడా బాల్సమ్ (n = 1.54)లో ఇమిడి ఉంటాయి. కాబట్టి వాటి విరామాన్ని కెనడా బాల్సమ్ ప్రతివర్తనంతో పోల్చి చెబుతారు. ఖనిజ రేణువు, కెనడా బాల్సమ్ ప్రతివర్తనాల వ్యత్యాసాన్ని బట్టి రేణువు అత్యంతధిక (extremely high), అత్యధిక (very high), అధిక (high), మిత (moderate) లేదా హీన (low) విరామన్ని చూపవచ్చు. ప్రతి వర్తనాల వ్యత్యాసం సుమారు 0.45 కన్న ఎక్కువ ఉంటే ఆరేణువు అత్యంతధిక విరామాన్ని, 0.45 - 0.20 ల మధ్య ఉంటే అత్యధిక విరామాన్ని, 0.20 - 0.12ల మధ్య ఉంటే అధిక విరామాన్ని, 0.12 - 0.06ల మధ్య ఉంటే మిత విరామాన్ని, 0.06 కన్న తక్కువ ఉంటే హీన విరామాన్ని

చూపుతుంది. రేణువుకూ, దాని చుట్టూ ఉన్న పదార్థానికీ ఒకే ప్రతివర్తనం ఉంటే రేణువును, లేదా దాని ఆవరణ రేఖను గుర్తించడం కష్టం. ఈ రెండింటి ప్రతివర్తనాల తేడా ఎంత ఎక్కువగా ఉంటే రేణువు ఆవరణ రేఖ అంత స్పష్టంగా కనిపిస్తుంది (పటాలు 10.5, 10.6).



పటం 10.5 అత్యధిక విరామాన్ని చూపే గార్నెట్ ఛేదాలు



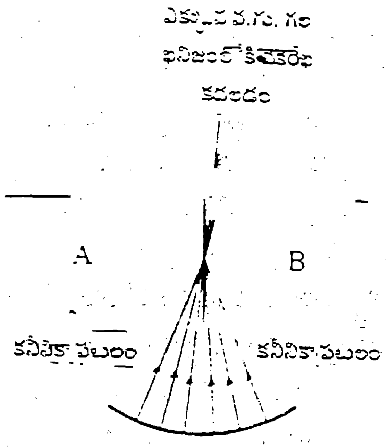
పటం 10.6 అత్యధిక విరామాన్ని చూపే స్ఫీన్ ఛేదం (డైమండ్ ఆకారంలో ఉంది); దాని ప్రక్కన అధిక విరామం చూపే బయొటైట్ (విదళన రేఖలున్నది); మిగిలిన భాగం హీన విరామం చూపే క్వార్ట్జ్, ఫెల్స్పార్ ఖనిజాలతో నిండి ఉంది.

పక్కపక్కనున్న రెండు ఖనిజాల సాపేక్ష వక్రీభవన గుణకాలను లేదా ఖనిజం, దాని ఆరోహణ పదార్థం (mounting substance) - సాధారణంగా కెనడా బాల్సమ్ - ల సాపేక్ష వక్రీభవన గుణకాలను బెకె ప్రభావం (Becke effect) లేదా బెకె పరీక్ష (Becke test) ద్వారా తెలుసుకొంటారు.

పటం 10.7లో ఎడమవైపున ఉన్న తక్కువ వక్రీభవనం గల ఖనిజం, కుడివైపున ఉన్న ఎక్కువ వక్రీభవనం గల ఖనిజాన్ని తాకుతూ ఉంది. ఈ రెండు ఖనిజాల మధ్య స్పర్శ దగ్గర చేరిన కిరణాల పుంజంలోని కొన్ని కిరణాలు వక్రీభవనం చెందుతాయి, మరికొన్ని కిరణాలు పూర్ణ పరావర్తనం చెంది అధిక వక్రీభవన గుణకం గల ఖనిజంలో సాంద్రీకృతమవుతాయి. సూక్ష్మదర్శిని కింద చూచినప్పుడు ఈ స్థానంలో ఒక సన్నని కాంతిరేఖ కనిపిస్తుంది. ఈ కాంతిరేఖను బెకెరేఖ (Becke line) అంటారు. సూక్ష్మదర్శిని గొట్టాన్ని పైకి జరుపుతూ లేదా వేదికను కిందికి జరుపుతూ, గొట్టం, వేదికల మధ్య దూరం ఎక్కువ చేసే కొద్దీ బెకెరేఖ అధిక వక్రీభవన గుణకం గల ఖనిజంలోకి పోతున్నట్లు కనిపిస్తుంది. సూక్ష్మదర్శిని గొట్టాన్ని కిందికి లేదా వేదికను పైకి జరిపి వాటి మధ్య దూరం తక్కువ చేసే కొద్దీ బెకెరేఖ తక్కువ వక్రీభవన గుణకంగల ఖనిజంలోకి పోతున్నట్లు కనిపిస్తుంది. సాధారణంగా అధిక ఆవర్ధనశక్తిగల వస్తుకటకాన్ని ఉపయోగించి, సూక్ష్మదర్శిని వేదికకు దిగువన ఉన్న కనీనికా పటలం సహాయంతో ఖనిజం ద్వారా ప్రసారమయ్యే కాంతిని కొంతమేరకు తగ్గించడం ద్వారా బెకె రేఖను స్పష్టంగా చూడవచ్చు.

ధ్రువితకాంతిలో పరిశీలన

ఖనిజ ఛేదాలను ధ్రువిత కాంతిలో పరిశీలించడానికి ధ్రువణకారిని దృగావరణంలో దాని స్థానంలో అంటే వేదికకు, దర్పణానికి మధ్య ఉంచాలి. కింది ధర్మాలను ధ్రువిత కాంతిలో పరిశీలించవచ్చు.



పటం 10.7 బెకె ప్రభావం

A తక్కువ వక్రీభవన గుణకం గల ఖనిజం

B ఎక్కువ వక్రీభవన గుణకం గల ఖనిజం

వర్ణపరివర్తన (pleochroism) : కొన్ని ఖనిజాలు వాటి వర్ణం గుణంలో లేదా తీవ్రతలో తేడా చూపుతాయి. ఈ తేడా ఖనిజంలో ధ్రువిత కాంతి ప్రసారమయ్యేటప్పుడు అది అనుసరించే దిశపై ఆధారపడి ఉంటుంది. ఖనిజం వర్ణపరివర్తను తెలుసుకోవడానికి ధ్రువణకారిని గాని వేదికను గాని భ్రమణం చేయాలి. వేదిక మీద ఉన్న ఖనిజం ఏదైనా ఒకస్థానంలో చూపే వర్ణం ధ్రువణకారి కంపనదిశకు సమాంతరంగా కంపించే కిరణాలకు సంబంధించి ఉంటుంది. బయొటైట్, టూర్మలీన్, స్ఫీన్, స్టారొలైట్, హైపర్‌స్థీన్, హార్న్‌బ్లెండ్ మొదలైన ఖనిజాలు వర్ణ పరివర్తన ధర్మాన్ని చూపుతాయి.

వర్ణపరివర్తన చూపే కొన్ని ఖనిజాల రేణువులలో ఆ రేణువు కంటె ఎక్కువ వర్ణపరివర్తన చూపే బిందువులు లేదా చుక్కలు కనిపిస్తాయి. వీటిని వర్ణపరివర్తన పరివేష్టాలు **(pleochroic haloes)** అంటారు. సాధారణంగా ఇవి ఖనిజరేణువులలోని ఇతర ఖనిజాల అంతర్వేశాల చుట్టూ కనిపిస్తాయి. బయొటైట్, కార్డియరైట్, ఆండలుసైట్, హార్న్‌బ్లెండ్, టూర్మలీన్, పైరాక్సీన్ మొదలైన ఖనిజాలలో ఎల్లనైట్ (allanite), రూటైల్, టైటానైట్, జిర్కాన్, ఎపటైట్ మొదలైన ఖనిజాల అంతర్వేశాల చుట్టూ వర్ణ పరివర్తన పరివేష్టాలను గమనించారు.

మిణుకుమిణుకుమనే ధర్మం (twinkling) : ఈ ధర్మం ఖనిజాల ద్విప్రతివర్తనం మీద అంటే గరిష్ఠ, కనిష్ఠ వక్రీభవన గుణకాల వ్యత్యాసం మీద ఆధారపడి ఉంటుంది. కేల్సైట్ ఖనిజంలో ఈ ధర్మం ప్రస్ఫుటంగా కనిపిస్తుంది. కేల్సైట్ ఖనిజంలో వక్రీభవన గుణకం సాధారణ కిరణానికి 1.66, అసాధారణ కిరణానికి 1.49 ఉంటుంది. కెనడా బాల్సమ్ వక్రీభవన గుణకం 1.54 ఉంటుంది. కేల్సైట్ రేణు సముచ్చయాన్ని ధ్రువిత కాంతిలో పరిశీలించినప్పుడు కొన్ని రేణువులు సాధారణ కిరణాన్ని ప్రసారం చేస్తాయి, కొన్ని అసాధారణ కిరణాన్ని ప్రసారం చేస్తాయి. సాధారణ కిరణాన్ని ప్రసారంచేసే రేణువుల వక్రీభవ గుణకం కెనడా బాల్సమ్ వక్రీభవన గుణకం కంటె చాలా ఎక్కువగా ఉంటుంది కాబట్టి వాటి ఆవరణ రేఖలు ప్రస్ఫుటంగా కనిపిస్తాయి. అసాధారణ కిరణాన్ని ప్రసారం చేసే రేణువుల వక్రీభవన గుణకం కెనడా బాల్సమ్ వక్రీభవన గుణకం కంటె తక్కువగా ఉంటుంది కాబట్టి వాటి ఆవరణ రేఖలు అంత స్పష్టంగా కనిపించవు. కేల్సైట్ ఛేదాన్ని ఉంచిన వేదికను గాని లేదా దాని కింద నున్న ధ్రువణకారిని గాని త్వరితంగా భ్రమణం చేసినప్పుడు, కొన్ని రేణువులు ప్రస్ఫుటమైన ఆవరణ రేఖలను, అంత స్పష్టంగా లేని ఆవరణ రేఖలను ఏకాంతరంగా చూపడంవల్ల మిణుకు మిణుకుమనే ధర్మం కనిపిస్తుంది.

విశ్లేషిత కాంతిలో లేదా వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య పరిశీలన

విశ్లేషిత కాంతిలో లేదా వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య పరిశీలనకు ధ్రువణకారి, విశ్లేషకం రెండింటినీ దృగావరణంలో, వాటి కంపన దిశలు ఒకదానికొకటి లంబంగా ఉండేటట్లు, సూక్ష్మదర్శినిలో వాటి వాటి స్థానాలలో ఉంచాలి. వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య కింది ధర్మాలను పరిశీలించవచ్చు.

సమగతిక ధర్మం (isotropism) , అసమగతిక ధర్మం (anisotropism) : సమాక్ష వ్యవస్థకు చెందిన పారదర్శక (పల్చని ఛేదాలలో) ఖనిజాల అన్ని ఛేదాలు వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య పూర్తిగా కృష్ణ వర్ణం లేదా విలుప్తత చూపుతాయి. అంటే ఇవి సమగతిక ధర్మం చూపుతాయి. చతుష్కోణ, షట్కోణ, త్రికోణ వ్యవస్థలకు చెందిన ఏకప్రకాశాక్ష ఖనిజాల ప్రకాశాక్షానికి (c- అక్షానికి) లంబంగా కోసిన ఛేదాలు మినహా మిగిలిన అన్ని ఛేదాలు అసమగతిక ధర్మం చూపుతాయి. అంటే ఇవి వేదిక పూర్తి భ్రమణంలో నాలుగుసార్లు మాత్రమే కృష్ణ వర్ణం, అంటే

విలుప్తత, చూపుతాయి. ప్రకాశాక్షానికి లంబంగా కోసిన ఛేదాలు వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య పూర్ణ విలుప్తతను చూపుతాయి. అయితే విషమాక్ష, ఏకనత, త్రినత వ్యవస్థలకు చెందిన ద్విప్రకాశాక్ష ఖనిజాలలో అన్ని ఛేదాలు అసమగతిక ధర్మాన్నే చూపుతాయి. ఈ ఖనిజాలలో ప్రకాశాక్షాలకు లంబంగా కోసిన ఛేదాలు ఆ ఖనిజాల సంక్లిష్ట నిర్మితీయ స్వభావం దృష్ట్యా, వాటి ద్విప్రతివర్తనం, విక్షేపణం మొదలైన ధర్మాల అసామాన్యత (peculiarity) కారణంగా పూర్ణ విలుప్తత చూపవు.

విలుప్తత (extinction) : అసమగతిక ఖనిజాల పల్చని ఛేదాలు, ఏకప్రకాశాక్ష ఖనిజాలలో c-అక్షానికి లంబంగా కోసినవి మినహా, వేదిక పూర్తి భ్రమణంలో వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య ఒకదానికొకటి 90^0 దూరంలో ఉన్న నాలుగు స్థానాలలో విలుప్తత చూపుతాయి. ఖనిజం స్ఫటిక అంచు లేదా విదళన రేఖ ఒక వ్యత్యస్త కేశానికి సమాంతరంగా ఉన్నప్పుడు విలుప్తత సంభవించితే అదిసరళ విలుప్తత లేదా సమాంతర విలుప్తత. ఖనిజం స్ఫటిక అంచు లేదా విదళన రేఖ వ్యత్యస్త కేశాలకు కొంత కోణంలో ఉన్నప్పుడు విలుప్తత సంభవిస్తే అది నత విలుప్తత. స్ఫటిక అంచు లేదా విదళన రేఖ అంటే ఖనిజం యొక్క స్ఫటిక రేఖీయ దిశకు, వ్యత్యస్త కేశాలకు మధ్య ఉన్నకోణం విలుప్తత కోణం. చాల ఖనిజాలకు విలుప్తత కోణం నిర్ధారణాత్మక ధర్మంగా ఉంటుంది.

విలుప్తత స్థానాలకు మధ్యనున్న స్థానాలలో ఖనిజం వ్యతికరణ వర్ణాలు చూపుతుంది. ఖనిజం చూపే వ్యతికరణ వర్ణాలు ఛేదం మందం, స్ఫటికంలో ఛేదం దిశ, ఖనిజం స్వభావం పైన ఆధారపడి ఉంటాయి.

యుగ్మత (twinning) : యుగ్మ లక్షణాన్ని, యుగ్మభాగాల సాపేక్ష దిగ్విన్యాసాన్ని (relative orientation) వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య అత్యుత్తమంగా చూడవచ్చు. యుగ్మంలోని రెండు భాగాలు లేదా రెండు గణాలయుగ్మపటలికలు (twin lamellae) వేరు వేరు వ్యతికరణ వర్ణాలను, వేరు వేరు స్థానాలలో విలుప్తతను చూపుతాయి. ప్లజియోక్లేస్ ఫెల్‌స్పార్ ఛేదాలలో యుగ్మత బాగా కనిపిస్తుంది. సాధారణ లేదా ధ్రువిత కాంతిలో సజాతీయంగా కనిపించే ఫెల్‌స్పార్ ఖనిజ రేణువుల్లో వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య రెండు గణాల యుగ్మ పటలికలు కనిపిస్తాయి. ఒక గణం పటలికలు ఒక స్థానంలో విలుప్తత చెందితే మరొక గణం పటలికలు వేరొక స్థానంలో విలుప్తత చెందుతాయి (పటం 10.8).

పటం 10.8 యుగ్మత చూపే ఫెల్‌స్పార్ ఛేదాలు. ఎడమవైపున : కార్ల్స్‌బాడ్ యుగ్మత (C) బవెనో యుగ్మత (B) చూపే ఆర్థోక్లేస్; కుడివైపున : ఆల్బైట్ యుగ్మత చూపే ప్లజియోక్లేస్. రెండు పటాలు వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్యవే.

ఖనిజ పరివర్తన (mineral alteration) : ఒక ఖనిజం రసాయన విఘటన వల్ల పొందిన మార్పును సాధారణ కాంతిలో చూడవచ్చు. పరివర్తన పొందిన ఖనిజం మబ్బుగా (cloudy), సంక్షుబ్ధంగా (turbid) ఉంటుంది. పరివర్తన ఉత్పాదితాలు సాధారణంగా విదళనరేఖల, పగుళ్ల వెంబడి ఏర్పడి ఉంటాయి. ఈ ఉత్పాదితాల లక్షణాలను వ్యత్యస్త నికాల్‌ల మధ్య స్పష్టంగా చూడవచ్చు. ఖనిజం యొక్క పరివర్తన ఉత్పాదితాల అసంఖ్యాక స్ఫటికాలు క్రమరహితంగా అమరి ఉంటాయి. కాబట్టి ఈ స్ఫటిక సముదాయం నిర్దిష్టమైన వ్యతికరణ వర్ణాలను గాక సముచ్చయ వ్యతికరణ వర్ణాలను (aggregate polarization colours) చూపుతుంది.

దీర్ఘత (elongation) : కొన్ని ఖనిజాలు దీర్ఘీకృత స్ఫటికాలు (elongated crystals) గా లభిస్తాయి. ఖనిజం దీర్ఘత దిశకు అనుగుణంగా వేగ కిరణం లేదా మంద కిరణ దిగ్విన్యాసాన్ని (orientation) దీర్ఘత సంజ్ఞ (sign of elongation) ద్వారా తెలియజేస్తారు. దీర్ఘత దిశకు మంద కిరణం కంపన దిశ సమాంతరంగా ఉంటే ఆ ఖనిజం దీర్ఘత ధనాత్మకం (+ve) అనీ, వేగ కిరణం కంపన దిశ సమాంతరంగా ఉంటే దీర్ఘత రుణాత్మకం (-ve) అనీ చెబుతారు. దీర్ఘత సంజ్ఞను క్వార్ట్జ్ కీలం సహాయంతో తెలుసుకోవచ్చు.

అభిసరణకాంతిలో పరిశీలన

అభిసరణ కాంతిలో అసమగతిక ఖనిజాల వ్యతికరణ చిత్రాలను (interference figures), ప్రకాశ సంజ్ఞ (optic sign) ను క్వార్ట్జ్ కీలం, జిప్సమ్ ఫలకం, మైకా ఫలకం సహాయంతో అధ్యయనం చేస్తారు. వ్యతికరణ చిత్రాలను రూపొందించడానికి సూక్ష్మదర్శిని వేదిక కింద సాంద్రీకరణ కటకాన్ని ఉంచి, నికాల్‌లను వ్యత్యస్తం చేసి, బెర్‌ట్రెండ్ కటకాన్ని దాని స్థానంలో ఉంచుతారు లేదా అక్షికటకాన్ని తీసివేస్తారు.

పైన క్లుప్తంగా ఇచ్చిన ఖనిజాల ప్రకాశ ధర్మాలను ప్రయోగశాలలో ఏ విధంగా అధ్యయనం చేయాలో, వాటిని ఏ విధంగా రికార్డ్ చేయాలో స్ఫటికశాస్త్ర, ఖనిజ శాస్త్ర ప్రయోగదీపికల నుంచి తెలుసుకోవచ్చు.

Bibliography

Blackburn, W.H., & Dennen, W.H — Principles of Mineralogy

Cox, Price & Harte — The Practical study of Crystals, Minerals & Rocks

Dana, E.S. — A Text Book of Mineralogy

Phillips, F.C. — An Introduction to Crystallography

Read, H.H. — Rutley's Elements of Mineralogy

Wade, F.A. & Mattox, R.B. — Elements of Crystallography and Mineralogy

Wahlstrom, E.E — Optical Crystallography

Winchell, A.N. — Elements of Optical Mineralogy

జగదీశ్వరరావు, రామాయణం — బి.ఎస్సి. స్ఫటిక శాస్త్రం